



**Mariana Martins Pepe Jorge**

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

## **AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS E DA DESINTEGRAÇÃO DE MATERIAIS - CONTRIBUTO PARA AFERIÇÃO DAS NORMAS TÉCNICAS: EN 16086-1 e ISO 20200**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Professora Doutora Ana Isabel Espinha da  
Silveira, Professora Auxiliar, FCT – UNL

Coorientador: Mestre Maria José Realinho Gonçalves  
Correia, Técnica Superior, FCT – UNL

**Júri:**

**Presidente:** Professora Doutora Maria da Graça Madeira Martinho,  
Professora Associada com Agregação, FCT - UNL

**Arguente:** Professora Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda,  
Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de  
Lisboa

**Vogal:** Eng.<sup>a</sup> Maria José Realinho Gonçalves Correia, Técnica Superior,  
FCT - UNL



**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS E DA DESINTEGRAÇÃO DE MATERIAIS - CONTRIBUTO PARA AFERIÇÃO DAS NORMAS TÉCNICAS: EN 16086-1 e ISO 20200**

Copyright © Mariana Martins Pepe Jorge, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

A realização da presente dissertação não se resume ao meu esforço e dedicação. Desta forma, quero agradecer a todos aqueles que me ajudaram, apoiaram e que contribuíram para a concretização deste longo trabalho.

À Professora Doutora Ana Silveira por ter aceitado este enorme desafio de ser minha orientadora e por todo o apoio prestado, que foi fundamental na concretização desta dissertação.

À Mestre Maria José Correia por ter aceitado ser minha coorientadora, por toda a sua disponibilidade e por todo o apoio em diversas situações.

Ao Investigador Miguel Fonseca por me ter auxiliado em toda a componente de análise estatística da presente dissertação.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por contribuir para a minha formação.

À Lipor e à Amarsul que gentilmente me cederam amostras para que toda a componente laboratorial se pudesse concretizar.

À minha família por toda a compreensão e apoio que me deu ao longo de todo este percurso académico.

Aos meus colegas por todo o apoio prestado em todos os momentos que passamos juntos ao longo destes anos.



## Resumo

A sociedade, ao longo dos anos, tem vindo a sofrer um aumento populacional assim como a qualidade de vida das pessoas também tem vindo a melhorar. Estes fatores juntamente com a melhoria do poder económico provocam um aumento na produção de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Os RSU tem que ser tratados através das Estações de Tratamento Mecânico e Biológico, onde ocorre a separação em diversas frações, tais como volumosos, planos e rolantes, fração orgânica, entre outras. A fração orgânica é encaminhada para compostagem dando origem a composto orgânico, que tem de cumprir diversos parâmetros para poder ser colocado à venda no mercado, sendo um deles a fitotoxicidade que é avaliada através da norma EN 16086-1:2011.

A presente dissertação tem como objetivo principal melhorar os métodos de avaliação da fitotoxicidade através da norma EN 16086-1:2011 e de avaliação da desintegração de materiais através da ISO 20200:2004. Desta forma, foram feitos os testes para ambos os casos, de acordo com os procedimentos referidos nas normas.

Para melhorar o método de avaliação de fitotoxicidade foram feitos diversos ensaios de trinta vasos cada, com sementes de couve chinesa (*Brassica napa*, spp. *pekinensis*). Utilizaram-se três tipos de corretivos orgânicos, em diferentes fases de maturação. O primeiro ensaio foi feito com vasos só de turfa, que se considerou o branco para servir de comparação com as restantes misturas. Os corretivos orgânicos foram aplicados na proporção 50:50 e 25:75 (composto: turfa). Para cada um dos ensaios avaliou-se o índice de inibição de germinação e o índice de inibição de crescimento e comparou-se com valores sugeridos pelo CCME (1996).

Realizou-se um estudo do pH ideal para a turfa, através de diversos ensaios só com turfa e com diferentes quantidades de cal. Verificou-se que ocorreu germinação ao 5º dia mesmo com o pH da turfa fora do intervalo referido na norma EN 16086-1:2011.

A análise estatística da presente dissertação divide-se em duas componentes. Uma primeira componente refere-se ao índice de germinação que foi tratado através de um modelo logístico normal e uma segunda componente referente ao índice de crescimento, que foi tratada através de um modelo ANOVA hierárquico a dois factores. A análise das duas componentes permitiu concluir que o número ideal de vasos que se deve realizar para cada um dos grupos do ensaio seria seis.

Para melhorar o método de avaliação do grau de desintegração sugere-se a utilização de um composto orgânico sintético, visto que se utilizou um composto fresco, apenas com quinze dias em túnel de compostagem e os valores de desintegração não foram os esperados.

**Palavras - Chave:** Compostagem, Norma EN 16086-1:2011, Fitotoxicidade, Norma ISO 20200:2004, Desintegração





## Abstract

Society over the years has been experiencing a population increase as well as the quality of life of people has also been improving. These factors together with the improvement of economic power lead to an increase in the production of municipal solid waste (MSW).

MSW have to be treated through the Mechanical and Biological Treatment Stations, where separation takes place in several fractions, such as bulky, flat and rolling, organic fraction, among others. The organic fraction is sent to composting giving rise to organic compound, which has to comply with several parameters to be put on sale in the market, one of them being phytotoxicity that is evaluated through the standard EN 16086-1: 2011.

The main purpose of this dissertation is to improve methodology for evaluating phytotoxicity through EN 16086-1: 2011 and the evaluation of the disintegration of materials through ISO 20200: 2004. In order to do so, tests were performed for both cases, according to the procedures referred to in the standards.

To improve the method for evaluating phytotoxicity, several trials of thirty pots each were made with Chinese cabbage (*Brassica napa*, spp. *pekinensis*) seeds. Three types of organic correctives were used in different phases of maturation. The first test was performed on pots of peat only, which was considered the white in order to compare with the other mixtures. Organic correctives were applied in the proportion 50:50 and 25:75 proportions (compound: peat). For each of the tests the germination inhibition index and the growth inhibition index were evaluated and compared with the values suggested by the CCME (1996).

A study of the ideal pH for peat was carried out through several tests with peat and with different amounts of lime. It was verified that germination occurred on the 5th day even when the pH of the peat was outside the range referred to in EN 16086-1: 2011.

The statistical analysis of the present dissertation is divided into two components. The first component refers to the germination index that was treated through a normal logistic model, whereas the second component related to the growth index was treated through an ANOVA model hierarchical structure to two factors. The analysis of the two components allowed to conclude that the ideal number of vessels to be performed for each of the test groups would be six.

To improve the method for assessing the degree of disintegration is suggested the use of a synthetic organic compound, since the compost used was a fresh compost that was in a in compost tunnel for only fifteen days and the disintegration values were not as expected.

**Key words:** Composting, Standard EN 16086-1: 2011, Phytotoxicity, ISO 20200: 2004, Disintegration



## Índice

<b>1. Introdução</b>	1
1.1. Enquadramento e definição do estudo	1
1.2. Objetivos da dissertação	2
1.3. Organização da dissertação	2
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	3
2.1. Compostagem	3
2.1.1. Fases do processo de compostagem	3
2.1.2. Fatores que influenciam o processo de compostagem	5
2.1.3. Qualidade do composto	11
2.1.4. Estabilidade e Maturação do Composto	13
2.2. Normas Técnicas utilizadas na avaliação da biodegradabilidade	16
2.2.1. Norma EN 16086-1:2011 - Avaliação da Fitotoxicidade	16
Ensaio de Germinação	17
Ensaio de Crescimento	19
Turfa	20
Quantidade de nutrientes durante o teste	21
2.2.2. ISO 20200: 2004 - Avaliação da Desintegração	22
Indústria Têxtil - Pelo e Feltro de Coelho	25
<b>3. Plano Experimental</b>	27
<b>4. Materiais e Métodos</b>	29
4.1. Compostos de Resíduos Orgânicos	29
4.1.1. Composto Maturado Amarsul (CMA) – Amarterra	29
4.1.2. Composto Maturado Lipor (CML) – Nutrimais	29
4.1.3. Composto Fresco Lipor (CFL)	29
4.2. Suportes de Cultura – Turfas	30
4.2.1. Turfa Mikskaar	30
4.3. Material teste usado no ensaio de desintegração	30
4.4. Caracterização Físico – Química	30
4.5. Análise da Estabilidade/ Maturação	33
4.5.1. Teste de auto - aquecimento em vasos Dewar	33
4.6. Ensaio de Fitotoxicidade	34
4.6.1. Determinação de efeitos negativos dos compostos testados	37
4.6.2. Determinação do pH ideal para a Turfa	38
4.6.3. Análise Estatística dos Resultados	39
4.7. Ensaio de Desintegração	41
4.7.1. Método de cálculo do teste de desintegração	44
4.8. Tratamento de Resultados	44
<b>5. Resultados e Discussão</b>	45
5.1. Caracterização Físico – Química dos Materiais de Estudo	45
5.2. Caracterização dos Materiais teste usados no Ensaio de Desintegração	47
5.3. Teste de Auto – Aquecimento	48

5.4.	Ensaio de Fitotoxicidade .....	49
5.4.1.	Determinação de efeitos negativos dos compostos testados .....	49
5.4.2.	Determinação do pH ideal para a Turfa .....	59
5.4.3.	Análise Estatística dos Resultados .....	60
5.5.	Ensaio de Desintegração .....	62
<b>6.</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>65</b>
6.1.	Síntese conclusiva.....	65
6.2.	Trabalhos Futuros .....	66
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>67</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>77</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Evolução da temperatura durante o processo de compostagem .....	4
<b>Figura 2.2.</b> Fatores que afetam a decomposição dos substratos na compostagem .....	5
<b>Figura 2.3.</b> Influência da temperatura na taxa de geração populacional dos microrganismos psicofílicos, mesofílicos e termofílicos no composto.....	6
<b>Figura 2.4.</b> Evolução da temperatura nas diferentes fases da compostagem .....	6
<b>Figura 2.5.</b> Evolução do pH durante o processo de compostagem .....	7
<b>Figura 2.6.</b> Evolução da necessidade de oxigénio ao longo do processo de compostagem .....	8
<b>Figura 2.7.</b> Variação da temperatura e do tempo com diferentes rácios C/N no processo de compostagem .....	9
<b>Figura 2.8.</b> Variação da temperatura e do tempo com diferentes granulometrias das partículas no processo de compostagem .....	10
<b>Figura 2.9.</b> Matriz de avaliação do grau de maturação .....	14
<b>Figura 4.1.</b> Corretivo Orgânico Nutrimais .....	29
<b>Figura 4.2.</b> Turfa .....	30
<b>Figura 4.3.</b> Material teste. 1-PNC; 2-PNA; 3-FNT; 4-FTSG; 5-FTCG .....	30
<b>Figura 4.4.</b> Triturador Retsch SM300 .....	31
<b>Figura 4.5.</b> Crivo .....	32
<b>Figura 4.6.</b> Microondas .....	32
<b>Figura 4.7.</b> Vasos Dewar .....	34
<b>Figura 4.8.</b> Grau de germinação das sementes .....	35
<b>Figura 4.9.</b> Ensaio de determinação da resposta das plantas .....	36
<b>Figura 4.10.</b> Ensaio de determinação da resposta das plantas: Planta com a primeira folha verdadeira e Planta com as cinco folhas verdadeiras .....	36
<b>Figura 4.11.</b> Patologias Foliares e Populações fúngicas .....	38
<b>Figura 4.12.</b> Análise granulométrica. A - fração superior a 25 mm; B - fração inferior a 25 mm; C - fração inferior a 12,5 mm; D - fração inferior a 6,3 mm; E - fração inferior a 2 mm .....	42
<b>Figura 4.13.</b> Reatores de desintegração em estufa .....	43
<b>Figura 5.1.</b> Diferentes Fases de Desenvolvimento das Couves Chinesas .....	49
<b>Figura 5.2.</b> Germinação das sementes .....	49
<b>Figura 5.3.</b> Taxa de Germinação na Turfa .....	52
<b>Figura 5.4.</b> Peso médio das plantas na Turfa .....	52
<b>Figura 5.5.</b> Taxa de Germinação no CMA (50:50) .....	53
<b>Figura 5.6.</b> Peso médio das plantas no CMA (50:50) .....	53
<b>Figura 5.7.</b> Taxa de germinação no CFL (50:50) .....	54
<b>Figura 5.8.</b> Peso médio das plantas no CFL (50:50).....	54
<b>Figura 5.9.</b> Taxa de Germinação CML (50:50).....	55
<b>Figura 5.10.</b> Peso médio das plantas no CML (50:50).....	55
<b>Figura 5.11.</b> Taxa de Germinação CMA (25:75) .....	56
<b>Figura 5.12.</b> Peso médio das Plantas no CMA (25:75).....	56

<b>Figura 5.13.</b> Taxa de Germinação no CFL (25:75) .....	57
<b>Figura 5.14.</b> Peso médio das Plantas no CFL (25:75) .....	57
<b>Figura 5.15.</b> Taxa de Germinação CML (25/75).....	58
<b>Figura 5.16.</b> Peso médio das Plantas CML (25:75) .....	58
<b>Figura 5.17.</b> Taxa de germinação <i>versus</i> Quantidade de Cal.....	59
<b>Figura 5.18.</b> Material teste após ensaio de desintegração. A – FTSG B – FTSG C – FNT D – PNA E - PNC .....	63

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1.</b> Parâmetros analíticos usados na avaliação da qualidade do composto.....	11
<b>Tabela 2.2.</b> Valores máximos admissíveis de microrganismos patogênicos, de sementes e de propágulos de infestantes .....	12
<b>Tabela 2.3.</b> Parâmetros de avaliação de qualidade do composto.....	12
<b>Tabela 2.4.</b> Graus de maturação do composto .....	13
<b>Tabela 2.5.</b> Parâmetros aplicados na avaliação integrada dos índices de estabilidade e maturação .....	14
<b>Tabela 2.6.</b> Metodologias e parâmetros discutidos na literatura para avaliação da estabilidade e maturação dos compostos .....	15
<b>Tabela 2.7.</b> Grau de Estabilidade do composto em função da temperatura máxima do ensaio de auto-aquecimento.....	15
<b>Tabela 2.8.</b> Relação dos ensaios de auto-aquecimento e respirometria .....	16
<b>Tabela 2.9.</b> Classificações possíveis dos níveis de fitotoxicidade .....	18
<b>Tabela 2.10.</b> Critérios de avaliação dos efeitos de fitotoxicidade dos compostos .....	20
<b>Tabela 2.11.</b> Metodologias e requisitos necessários para determinar o grau de desintegração do material de estudo .....	22
<b>Tabela 2.12.</b> Composição de Resíduos Sólidos Sintéticos .....	24
<b>Tabela 3.1.</b> Plano Experimental.....	27
<b>Tabela 4.1.</b> Valores máximos admissíveis para cada classe em miligramas por quilograma de matéria seca.....	33
<b>Tabela 4.2.</b> Classes de estabilidade do composto .....	34
<b>Tabela 4.3.</b> Cálculos .....	37
<b>Tabela 4.4.</b> Quantidades de cal e respectivo valor de pH.....	38
<b>Tabela 4.5.</b> Calendarização do Ensaio.....	43
<b>Tabela 4.6.</b> Cálculo do grau de desintegração .....	44
<b>Tabela 5.1.</b> Caracterização Físico - Química .....	45
<b>Tabela 5.2.</b> Granulometria (%).....	46
<b>Tabela 5.3.</b> Análise Elementar (%) .....	46
<b>Tabela 5.4.</b> Metais Pesados (mg/kg ps) e Macronutrientes (% ps).....	47
<b>Tabela 5.5.</b> Caracterização Físico - Química .....	47
<b>Tabela 5.6.</b> Análise Elementar.....	48
<b>Tabela 5.7.</b> Resultados do Ensaio de Fitotoxicidade.....	50
<b>Tabela 5.8.</b> Resultados de Inibição de Germinação e Crescimento .....	51
<b>Tabela 5.9.</b> Taxa de germinação para diferentes valores de pH.....	59
<b>Tabela 5.10.</b> Valores fixos .....	60
<b>Tabela 5.11.</b> Variabilidade do número de vasos .....	60
<b>Tabela 5.12.</b> Variabilidade do número de vasos .....	61
<b>Tabela 5.13.</b> Grau de Desintegração de cada um dos materiais teste .....	62





## **Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos**

**CE** – Condutividade Elétrica

**CFL** – Composto Fresco Lipor

**CMA** – Composto Maturado Amarsul

**CML** – Composto Maturado Lipor

**FNT** – Feltro Não Tingido

**FTCG** – Feltro Tingido Com Goma

**FTSG** – Feltro Tingido Sem Goma

**MO** – Matéria Orgânica

**PNA** – Pelo Natural Acabado

**PNC** – Pelo Natural Cru

**ps** – Peso Seco

**RSU** – Resíduos Sólidos Urbanos



## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento e definição do estudo

Atualmente, a sociedade tem vindo a aumentar a produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). O aumento populacional, a melhoria da qualidade de vida e a dimensão económica de um país são fatores que justificam este acontecimento, que é cada vez mais notório no planeta onde todos habitamos. Na Europa, ocorreu um aumento de 2 503 milhões de toneladas de resíduos durante o período de 2004 a 2014 (Eurostat, 2017).

De acordo com o princípio da hierarquia dos resíduos, apresentado no artigo 7.º, do Decreto-Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, a política e a legislação em matéria de resíduos devem respeitar a seguinte ordem de prioridades no que se refere às opções de prevenção e gestão de resíduos:

- a) Prevenção e redução;
- b) Preparação para a reutilização;
- c) Reciclagem;
- d) Valorização;
- e) Eliminação.

Os resíduos orgânicos biodegradáveis são uma fração significativa dos RSU produzidos, e desta forma, é importante encontrar soluções económica e ambientalmente viáveis para os mesmos. A valorização orgânica é um processo biológico em que os microrganismos transformam a matéria orgânica, como estrume, folhas e restos alimentares, num material semelhante ao solo que se designa por composto. É constituída pela compostagem e pela digestão anaeróbia, podendo ser considerada uma solução. A compostagem é uma forma de reduzir os resíduos depositados em aterro e ao mesmo tempo produzir um composto estabilizado, higienizado e rico em nutrientes, que pode ser utilizado como fertilizante ou como corretivo de solos. No entanto, se o composto não apresentar qualidade suficiente pode prejudicar o crescimento das plantas cultivadas nesse solo e causar-lhe problemas ao nível da fitotoxicidade (Belo, 2011).

Em Portugal existem diversas empresas a produzir composto como por exemplo, a AMARSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A., a LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, entre outras.

Para estes compostos serem colocados no mercado tem que cumprir diversos parâmetros analíticos referidos no Decreto-Lei n.º 103/2015. Os vários métodos que podem ser utilizados para avaliar os compostos e os valores máximos admissíveis para os diferentes parâmetros que tem de ser cumpridos também estão referidos no Decreto-Lei nº 103/2015. No que diz respeito ao parâmetro fitotoxicidade, este não é muito esclarecedor, uma vez que apresenta cinco métodos possíveis para avaliação do mesmo. Os métodos possíveis são a norma EN 16086-1, a norma EN 16086-2, a norma ISO 11269-2, a norma ISO 17126, e a metodologia proposta por Zucconi *et al.*, em 1981. Todos eles incluem ensaios de germinação e de crescimento, e o Decreto-Lei nº 103/2015 apenas indica que os resultados devem ser expressos em % de germinação. Também não é referido nenhum valor, em % de germinação, a partir do qual o composto deixe de ser

considerado fitotóxico. Assim, surgiu a necessidade de melhorar um dos métodos utilizados na avaliação deste parâmetro. A norma EN 16086-2 e a ISO 17126 sugerem que os ensaios sejam feitos em caixas de Petri, contrariamente à norma EN 16086-1 e à ISO 11269-2 que sugerem ensaios em vasos.

## **1.2. Objetivos da dissertação**

O objetivo principal da presente dissertação é desenvolver e aferir a norma da fitotoxicidade (EN 16086-1:2011) e a norma da desintegração (ISO 20200:2004). A importância deste aperfeiçoamento relaciona-se com o facto destas normas (ou equivalentes) serem utilizadas na avaliação da biodegradabilidade dos materiais, mais precisamente, na parte da qualidade do composto produzido. No que diz respeito à norma da fitotoxicidade, pretende-se saber qual o número ideal de vasos que se devem fazer para cada grupo em estudo, verificar qual o intervalo de pH a que a turfa se deve encontrar, e ainda como interpretar os resultados. Relativamente à norma de desintegração, a ISO 20200:2004, pretende-se perceber quais os pontos fracos da mesma por forma a serem melhorados.

## **1.3. Organização da dissertação**

A dissertação é composta por seis capítulos, nomeadamente: Introdução, Revisão Bibliográfica, Plano Experimental, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusões e trabalhos futuros. Apresenta ainda, no final, uma secção de referências bibliográficas e outra secção de anexos.

No capítulo um, a Introdução, apresenta-se o enquadramento da presente dissertação, assim como os principais objetivos e a organização da mesma.

No capítulo dois, a Revisão Bibliográfica, faz-se um levantamento sobre o que existe publicado, em termos de literatura, legislação e normas relacionadas com o tema em estudo. Começa-se por discutir o conceito de compostagem, assim como as fases do processo e os diversos fatores que o influenciam. Posteriormente, são apresentadas e interpretadas as normas técnicas utilizadas na avaliação da biodegradabilidade, mais precisamente as que permitem avaliar a fitotoxicidade e a desintegração. Por fim algumas considerações gerais sobre a indústria têxtil, mais precisamente o pelo e o feltro de coelho, utilizadas no ensaio de desintegração.

No capítulo três, o Plano Experimental, descreve-se todo o procedimento experimental realizado.

No capítulo quatro, Materiais e Métodos, apresentam-se todos os materiais utilizados e a respetiva caracterização e ainda toda a metodologia aplicada.

No capítulo cinco, Resultados e Discussão, apresentam-se todos os resultados obtidos nos diferentes ensaios, bem como a sua análise estatística e interpretação.

Finalmente no capítulo seis, Conclusões e trabalhos futuros, são apresentadas as conclusões do presente estudo e são sugeridas algumas ideias para trabalhos futuros.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Compostagem**

Segundo o Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de Junho, compostagem é definida como a degradação biológica aeróbia dos resíduos orgânicos até à sua estabilização, produzindo uma substância húmica, designada por composto, utilizável como corretivo orgânico do solo. O composto é um produto higienizado e estabilizado, resultante da decomposição da matéria orgânica, por compostagem, cujas características são de modo a beneficiar, direta ou indiretamente, o crescimento das plantas. Este pode apresentar diversas fases de maturação, tais como composto fresco, composto semi-maturado e composto maturado.

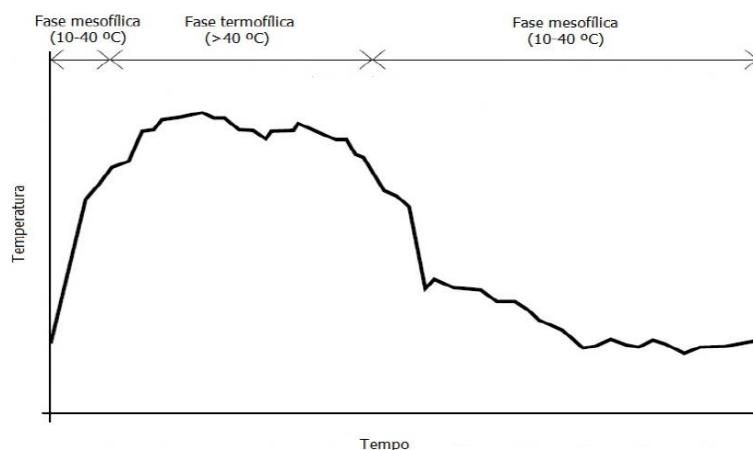
Composto fresco é o produto resultante do processo de compostagem, em que a fração orgânica sofreu uma decomposição parcial, encontrando-se higienizada mas não suficientemente estabilizada, pelo que é passível de uma libertação temporária de fitotoxinas;

Composto semi-maturado é o produto resultante do processo de compostagem, em que a fração orgânica sofreu uma decomposição parcial, encontrando-se higienizada e parcialmente estabilizada;

Composto maturado é o produto resultante do processo de compostagem, em que a fração orgânica se encontra higienizada e em adiantada fase de humificação ou de estabilização, e a sua biodegradabilidade reduziu-se de tal forma que é negligenciável o seu potencial de produção de fitotoxinas e de calor.

#### **2.1.1. Fases do processo de compostagem**

O processo de compostagem divide-se em duas fases, a fase ativa e a fase de maturação. A fase ativa pode ainda dividir-se em duas fases, a fase mesofílica e a fase termofílica. A fase de maturação divide-se na fase de arrefecimento e na fase de maturação. Em cada uma destas fases, existem populações de microrganismos ativos que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Silveira, 1997; Martinho *et al.*, 2011). Na figura 2.1., que se apresenta a seguir, podem ser observadas as diversas temperaturas atingidas nas diferentes fases do processo de compostagem.



**Figura 2.1.** Evolução da temperatura durante o processo de compostagem (adaptado: Batista e Batista, 2007)

### **Fase Ativa**

#### *Fase mesofílica*

Nesta fase inicial, os compostos ricos em energia, açúcares e proteínas, são facilmente degradados por fungos e bactérias, geralmente invocados de decompositores primários. Como a atividade microbiana liberta energia na forma de calor, ocorre uma elevação da temperatura, saindo do intervalo de temperaturas da fase mesofílica (25 - 40°C). É neste período que ocorre a substituição da população microbiana mesofílica por uma população capaz de suportar temperaturas mais elevadas, em fase termofílica (Insam e de Bertoldi, 2007).

#### *Fase termofílica*

Na fase termofílica (35 - 65°C), os organismos adaptam-se a temperaturas mais elevadas e conseguem substituir, quase na totalidade, a população da fase mesofílica. Os organismos da fase anterior morrem e são eventualmente degradados pelos organismos termofílicos, juntamente com o restante, substrato facilmente degradável. A decomposição continua a ocorrer de uma forma acelerada até que se atinja uma temperatura de aproximadamente 62°C.

A população termofílica tem um máximo de crescimento entre os 35 e 55 °C, enquanto que a temperatura mais alta geralmente inibe crescimento fúngico. As bactérias e as actino bactérias termotolerantes e termofílicas são conhecidas por permanecerem ativas também em temperaturas mais altas. A destruição da maioria dos microrganismos ocorre a temperaturas acima de 65 °C. A temperatura pode subir ainda mais, podendo mesmo exceder 80 °C.

Nem todas estas temperaturas são atingidas em todas as zonas de uma pilha de composto. Assim, é importante que através da rotação regular, cada parte do substrato seja movida para a central, parte mais alta da pilha, permitindo desta forma minimizar as diferenças de temperatura entre as diversas zonas da pilha.

A fase termofílica é importante para a higienização, uma vez que suprime parte dos agentes fitotóxicos, que resultam da degradação orgânica e das sementes de plantas daninhas e larvas de insetos. A desvantagem das temperaturas superiores a 70 °C é que a maioria dos mesófilos é morta e a recuperação é retardada após o pico de temperatura (Insam e de Bertoldi, 2007).

## Fase de Maturação

### Fase de arrefecimento

Quando a atividade dos organismos termofílicos termina devido à exaustão dos substratos, a temperatura começa a diminuir e os organismos mesofílicos recolonizam o substrato, seja originário de esporos sobreviventes, através da propagação de microniches protegidos, ou de inoculação. Enquanto que na fase mesofílica os organismos com a capacidade de degradar açúcares, oligossacarídeos e proteínas dominam, a fase de arrefecimento é caracterizada por um número crescente de organismos que degradam o amido ou a celulose. Entre eles estão bactérias e fungos (Insam e de Bertoldi, 2007).

### Fase de maturação

Durante a fase de maturação, a qualidade do substrato diminui e a composição da comunidade microbiana é totalmente alterada. Normalmente, a proporção de fungos aumenta, enquanto o número de bactérias diminui. Nesta fase, os compostos que não são mais degradáveis, como os complexos de *ligninus*, são agregados e tornam-se predominantes (Insam e de Bertoldi, 2007).

### 2.1.2. Fatores que influenciam o processo de compostagem

O processo de compostagem depende de diversos fatores que afetam, direta ou indiretamente, o metabolismo dos microrganismos responsáveis pela decomposição dos resíduos e a sua transformação num produto estável e rico em substâncias húmicas. Desta forma, é essencial que as condições de desenvolvimento dos microrganismos sejam as melhores. Assim, deve-se controlar e otimizar diversos parâmetros, tais como: temperatura, pH, humidade, quantidade de oxigénio molecular e ainda relação C/N (carbono/azoto) (Cunha Queda, 1999). Na figura 2.2. está representado um diagrama com as diversas interações entre alguns desses fatores.

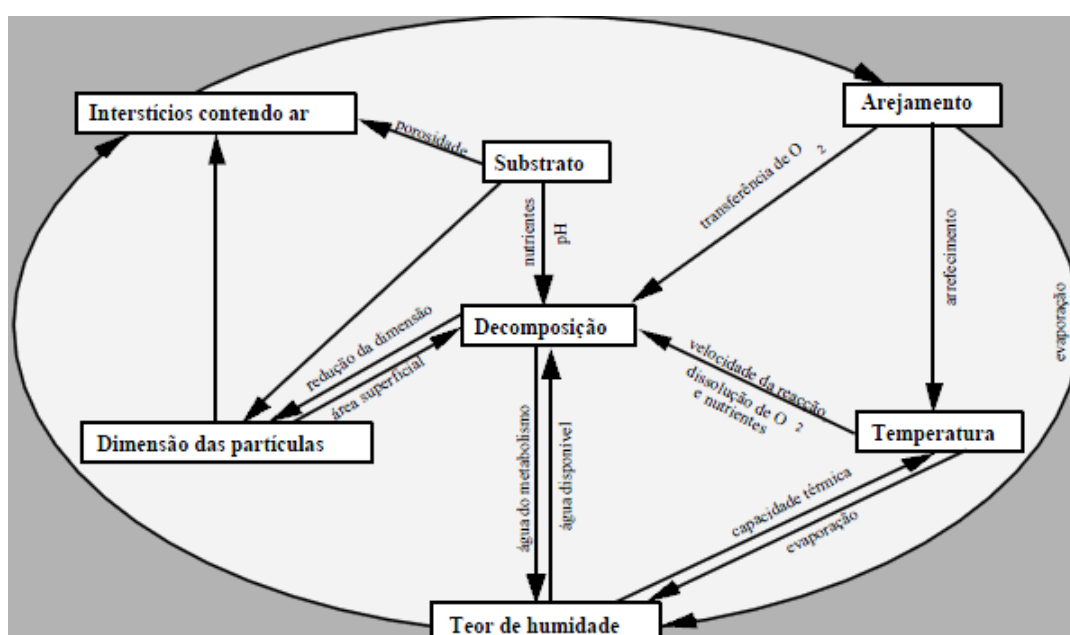


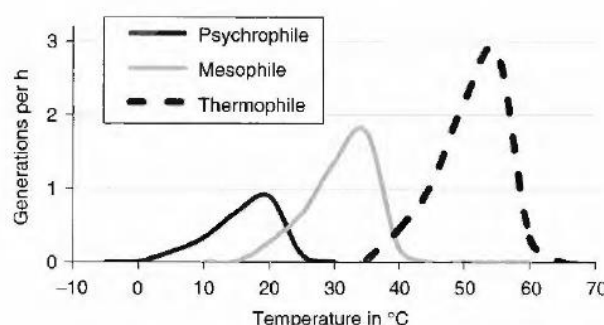
Figura 2.2. Fatores que afetam a decomposição dos substratos na compostagem (Cunha Queda, 1999)

## Temperatura

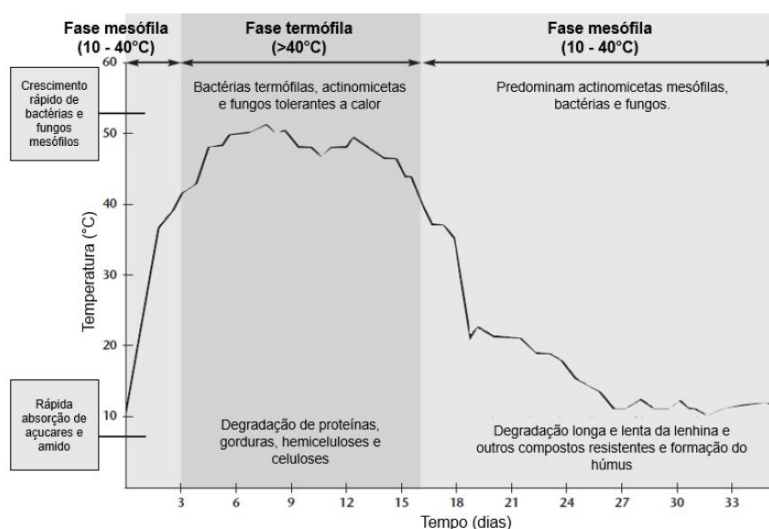
O fator temperatura é um dos mais importantes no que diz respeito à dinâmica da compostagem. As populações microbianas são as responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos e este fator influencia a velocidade do processo de degradação (Insam e de Bertoldi, 2007).

Segundo Martinho *et al.*, 2011, os microrganismos tem a capacidade de regular a temperatura no entanto, este fator também pode ser alterado através do processo de revolvimento ou de arejamento. Estes dois últimos processos são fundamentais para aumentar a eficiência e atingir a temperatura ideal.

Como se pode ver através das figuras 2.3. e 2.4., a temperatura influencia a taxa de geração populacional e também a duração de todo o processo de compostagem, apresentando uma grande variação quando termina a fase termófila e começa a fase mesófila.



**Figura 2.3.** Influência da temperatura na taxa de geração populacional dos microrganismos psicófilos, mesófilos e termófilos no composto (Insam e de Bertoldi, 2007)



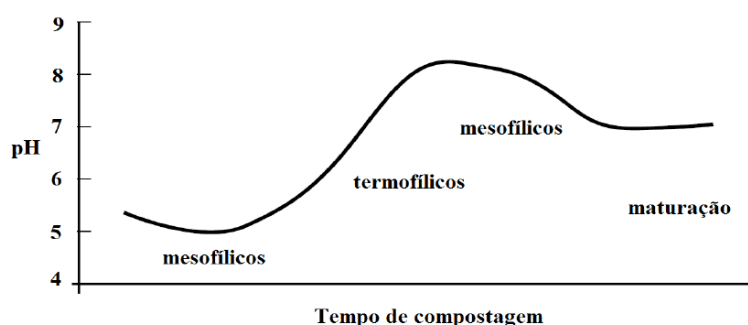
**Figura 2.4.** Evolução da temperatura nas diferentes fases da compostagem (Trauttmann e Krasny, 1997)

## pH

O pH é um fator que varia bastante ao longo do processo de compostagem, no entanto não interfere com o processo em si devido à imensidão de microrganismos envolvidos e à capacidade tampão do mesmo. Os substratos deveriam apresentar um pH entre 6,5 e 8 (Cordeiro, 2010).



No início do processo, onde ocorre a decomposição dos substratos mais facilmente biodegradáveis verifica-se uma diminuição do pH devido aos ácidos orgânicos. De seguida, inverte-se esta tendência, verificando-se um aumento de pH devido à formação de azoto amoniacal. Quando termina a fase ativa da compostagem e se atinge a fase de maturação o pH estabiliza (Martinho *et al.*, 2011). Toda esta evolução pode ser observada na figura 2.5. que a seguir se apresenta.



**Figura 2.5.** Evolução do pH durante o processo de compostagem (adaptado: Batista e Batista, 2007)

### **Teor de Humidade**

O teor de humidade dos substratos é um fator que afeta profundamente a degradação da matéria orgânica durante o processo de compostagem. Existe uma rede de partículas sólidas com espaços vazios que são preenchidos por ar e água (Haug, 1993). Nestes espaços vazios não é desejável o seu preenchimento total com água ou com ar mas sim a existência de um equilíbrio entre estes dois componentes, de forma a que haja decomposição de matéria orgânica mas também renovação da massa de ar. Se os espaços forem cheios na totalidade com água (elevada humidade) não haverá espaço para o oxigénio circular, o que impedirá a ocorrência da compostagem aeróbia. Se os espaços foram preenchidos unicamente com ar (baixa humidade) influencia a atividade metabólica dos microrganismos o que irá também comprometer a compostagem (Batista, 2009).

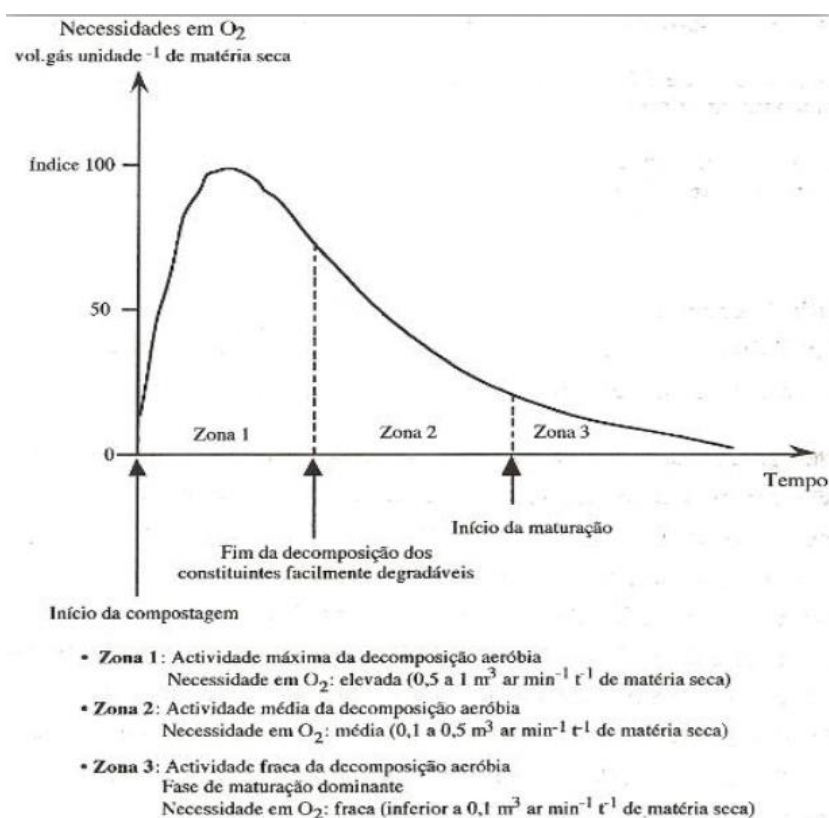
O teor de humidade deve diminuir ao longo do processo de compostagem, devido à evolução da temperatura que provoca perda de água por evaporação. Este fator deve ser controlado no decorrer de todo o processo e pode adicionar-se água nas operações de revolvimento ou arejar quando está em excesso. Recomenda-se que este fator, no final do processo varie entre 25 a 30% para ajudar no funcionamento dos equipamentos e por questões de qualidade do composto (Batista e Batista, 2007).

### **Disponibilidade de Oxigénio – Arejamento**

Os principais objetivos do arejamento do material em compostagem são: garantir as necessidades de oxigénio aos microrganismos aeróbios, remover o excesso de calor (principalmente por evaporação da água), remover o vapor de água para permitir a secagem do material e remover os gases resultantes da decomposição do interior da massa de compostagem (Cordeiro, 2010).

A ventilação natural é um dos mecanismos mais importantes para o arejamento dos substratos em compostagem. Esta permite a entrada de uma massa de ar fria e densa para o interior da pilha de compostagem e a saída do ar quente e húmido para o exterior. Quanto maior for a granulometria das partículas melhor ocorre a ventilação no entanto, ocorre também o decréscimo da difusão de oxigénio no interior das partículas. O ideal será existir um equilíbrio entre estes dois fatores, que pode ser controlado através do revolvimento do material, impedindo a compactação do mesmo (Haug,1980).

A disponibilidade de oxigénio existente numa biomassa em compostagem é um fator diretamente relacionado com a atividade dos microrganismos aeróbios. Na figura 2.6. apresenta-se uma curva teórica das necessidades de oxigénio ao longo da compostagem (Mustin, 1987).



**Figura 2.6.** Evolução da necessidade de oxigénio ao longo do processo de compostagem (Mustin, 1987)

### Nutrientes

Para que o processo de compostagem ocorra, os microrganismos necessitam de nutrientes para crescer e realizar as suas atividades. De acordo com a quantidade de nutrientes necessárias, estes classificam-se em macro e micronutrientes. O azoto, o carbono, o fosforo e o potássio são considerados macronutrientes uma vez que são necessários em maiores quantidades. O enxofre, o cálcio, o magnésio e o sódio são considerados micronutrientes, pois são necessários em menores quantidades (Batista, 2009).

**Relação Carbono: Azoto (C/N)**

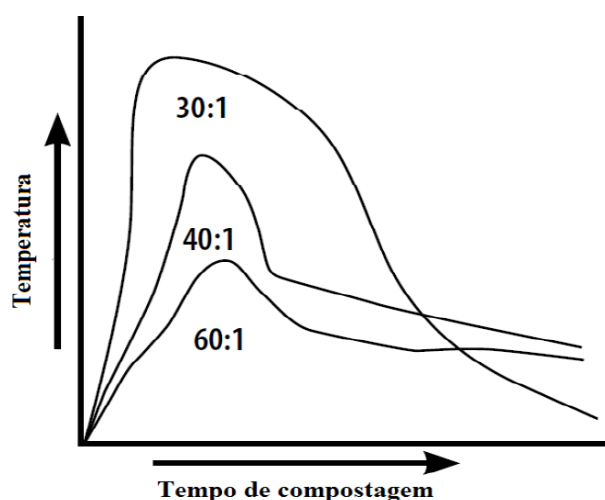
Um processo biológico como a compostagem apresenta constituintes fundamentais, tais como os elementos químicos carbono e azoto. Estes estão presentes nas células microbianas do processo, onde o carbono representa, em média, 50% e o azoto pode representar 2 - 8% (Russo, 2004). O carbono tem como principais funções ser constituinte do material celular, funcionar como um dador de eletrões em metabolismos energéticos (respiração e fermentação) e funcionar como um recetor de eletrões em reações metabólicas de energia (fermentação, redução do  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$ ). No caso do azoto, ser um constituinte de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e aminoácidos, funcionar como um dador de eletrões em reações metabólicas de certas bactérias e ainda quando está na forma de nitrito e nitrato atuar como recetor de eletrões em reações metabólicas de energia da bactéria da desnitrificação sob condições anaeróbias são as suas principais funções (Oliveira, 2011).

Segundo Russo (2004) a relação C/N depende dos microrganismos e do meio de crescimento, onde 2/3 do carbono se perde como  $\text{CO}_2$  e 1/3 se combina com o azoto nas reações celulares.

O equilíbrio destes dois nutrientes tem influência direta na taxa de degradação dos substratos e também na duração global do processo. Assim, diversos autores tentam perceber qual a razão C/N ideal para o processo de compostagem (Lopes, 2013). De acordo com Martinho *et al* (2011), no início do processo de compostagem, a razão C/N deve ter um valor máximo de 30:1, uma vez que por cada 30 partes de carbono degradado os microorganismos utilizam 1 parte de azoto.

Segundo Lopes (2013) a gama óptima para a relação C/N situa-se entre os 25:1 e os 35:1. Para rácios superiores, o azoto torna-se limitante, diminuindo a actividade microbiológica e a taxa de degradação dos substratos. Para rácios inferiores a 15:1 o azoto está presente em excesso, libertando-se na forma de amónia e criando condições de toxicidade para os microorganismos.

A figura 2.7., apresenta a variação da temperatura e do tempo de compostagem com diferentes rácios C/N no processo de compostagem.



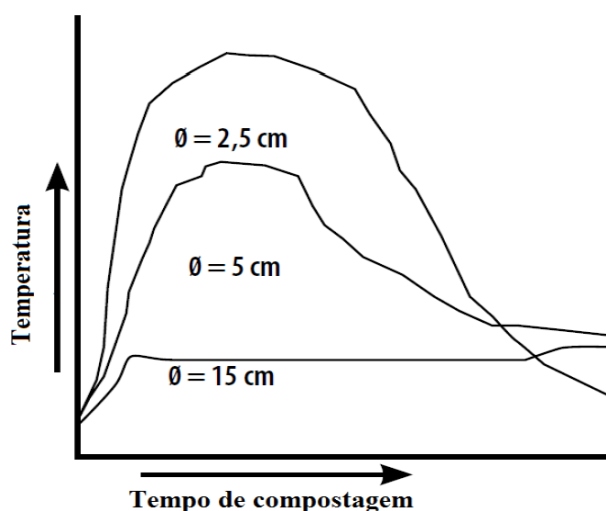
**Figura 2.7.** Variação da temperatura e do tempo com diferentes rácios C/N no processo de compostagem (Batista e Batista, 2007)

### **Granulometria e Porosidade**

A porosidade, a estrutura e a textura da matriz inicial estão relacionadas com as características físicas dos materiais que a constituem como o formato, a dimensão e a resistência à compactação das partículas da biomassa e podem influenciar o processo de compostagem no que respeita ao arejamento. Outra característica importante é a densidade aparente da mistura que, em simultâneo com as outras características, pode indicar a possível compactação da biomassa (Cunha Queda, 1999).

Segundo Piedade e Aguiar (2010) a granulometria do material a utilizar no processo de compostagem influencia as condições em que o processo decorre, nomeadamente a circulação do oxigénio e da água, a superfície de contacto entre os resíduos e os microrganismos e a homogeneidade do material. Se a granulometria das partículas for muito baixa, há tendência para a compactação dos resíduos e ainda uma possível formação de condições anaeróbias durante o processo. Se a granulometria das partículas for muito elevada, é necessário reduzi-la de modo a aumentar a superfície de contacto entre os resíduos e os microrganismos, aumentando por sua vez a velocidade da reação (Piedade e Aguiar, 2010).

A figura 2.8. apresenta a variação da temperatura e do tempo de compostagem com diferentes granulometrias das partículas no processo de compostagem. Como se pode ver, quanto menor a dimensão das partículas maior é a temperatura atingida.



**Figura 2.8.** Variação da temperatura e do tempo com diferentes granulometrias das partículas no processo de compostagem (Batista e Batista, 2007)

Durante o processo de compostagem ocorre o revolvimento que serve para impedir a compactação do material e manter um nível adequado de porosidade. Este nível deve situar-se entre os 35 e os 50%, sendo que se for inferior podem surgir condições anaeróbias e se for superior não permite a manutenção das temperaturas elevadas, uma vez que as perdas de energia tendem a superar a produção de calor. Para melhorar o nível de porosidade, no início do processo de compostagem, pode ser adicionado material estruturante ou destroçar os substratos (Lopes, 2013).

### **Sólidos Voláteis / Matéria Orgânica**

Os sólidos voláteis indicam a presença de matéria orgânica (MO) no composto. Importa considerar que outros compostos não orgânicos (por exemplo, carbonatos e água) podem ser perdidos após aquecimento à temperatura de 550 °C. Entre 50 a 58% dos sólidos voláteis é considerado carbono orgânico (Castro-Aguirre *et al.*, 2017).

O esgotamento dos solos em matéria orgânica pode ser reduzido através da utilização de corretivos provenientes da valorização dos resíduos orgânicos (Gonçalves, 1999).

De acordo com Silveira (1997) a quantidade e o tipo de matéria orgânica dos substratos de compostagem, juntamente com a temperatura do processo, interferem na duração da decomposição das diferentes substâncias orgânicas, uma vez que existem diversos microrganismos em atividade na biomassa ou introduzidos por inoculação.

A evolução da matéria orgânica ao longo do processo de compostagem ocorre em duas fases principais, a decomposição e a humificação. Na fase ativa ocorre a decomposição dos constituintes mais facilmente degradáveis em condições oxidantes, tais como açúcares, ácidos gordos, gorduras, aminoácidos e proteínas. Hemiceluloses, celulosas e quitina sofrem uma degradação mais lenta (Cunha Queda, 1999).

#### **2.1.3. Qualidade do composto**

A qualidade do composto é uma característica que envolve uma grande diversidade de parâmetros para a sua certificação. Estão incluídos parâmetros de estabilidade e maturação mas também se pode avaliar através do pH, do teor em metais pesados, do nível de higienização e da presença de materiais inertes (Cunha Queda, 1999). A necessidade de avaliar a qualidade dos compostos relaciona-se com a sua utilização na agricultura, sendo que os parâmetros mais importantes são o grau de estabilidade e maturação, a concentração de nutrientes e ainda a presença de substâncias tóxicas prejudiciais à germinação e ao desenvolvimento de plantas (Zucconi *et al.*, 1981; Batista e Batista, 2007).

No Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de Junho, é referido que para a avaliação e controlo da qualidade dos compostos orgânicos é necessário que o produto cumpra os parâmetros analíticos referidos nas tabelas 2.1. e 2.2. que se apresentam de seguida.

**Tabela 2.1.** Parâmetros analíticos usados na avaliação da qualidade do composto (Decreto-Lei n.º 103/2015)

<b>Matéria orgânica</b>	Deve conter um teor mínimo de 30%, em matéria seca
<b>Humidade</b>	O teor máximo permitido, expresso em percentagem de massa, é 40%
<b>Granulometria</b>	Cerca de 99% do material do corretivo orgânico deve passar por um crivo de malha quadrada de 25 mm
<b>pH</b>	Deve situar-se entre 5,5 e 9,0
<b>Fitotoxicidade</b>	Submete-se a um dos testes de fitotoxicidade, referido em anexo, e se este revelar ausência de fitotoxicidade, a matéria fertilizante de origem orgânica é considerada não fitotóxica
<b>Microrganismos, sementes e propágulos de infestantes</b>	Os compostos não podem exceder os valores máximos estipulados, indicados na tabela 2.2.

**Tabela 2.2.** Valores máximos admissíveis de microrganismos patogénicos, de sementes e de propágulos de infestantes (Decreto-Lei nº103/2015)

Microrganismos patogénicos	Valores máximos admissíveis
<i>Salmonella spp</i>	Ausente em 25 g de matéria fertilizante produzida.
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 células/g de matéria fertilizante produzida.
Sementes e propágulos de infestantes	3 unidades ativas/Litro.

Também é necessário cumprir parâmetros no que diz respeito ao teor de metais pesados. Na tabela 2.3. são apresentados os teores máximos de metais pesados e organismos patogénicos para cada uma das classes (Decreto-Lei n.º 103/2015).

**Tabela 2.3.** Parâmetros de avaliação de qualidade do composto (Decreto-Lei n.º 103/2015)

Parâmetro	Composto			
	Classe I	Classe II	Classe IIA	Classe III
Cd (mg/kg ps)	0.7	1.5	3	5
Pb (mg/kg ps)	100	150	300	500
Cu (mg/kg ps)	100	200	400	600
Cr (mg/kg ps)	100	150	300	400
Hg (mg/kg ps)	0.7	1.5	3	5
Ni (mg/kg ps)	50	100	200	200
Zn (mg/kg ps)	200	500	1000	1500
<i>Salmonella spp.</i> (pt.q.)	Ausente em 25 g			
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g pt.q.)	< 1000			

As classes atribuídas face aos diversos parâmetros avaliados permitem-nos saber as diferentes utilizações dos compostos. No caso das classes I e II correspondem a um composto que pode ser utilizado na agricultura. A classe IIA corresponde a um composto a utilizar em culturas agrícolas arbóreas e arbustivas nomeadamente pomares, olivais e vinhas e ainda em espécies silvícolas. A classe III indica que o composto não pode ser aplicado a qualquer tipo de cultura destinadas à alimentação humana e animal. Pode ser utilizado como terra de cobertura em aterros sanitários, pedreiras e minas, tendo em vista a restauração da paisagem, cobertura de valas e taludes, no caso da construção de estradas (integração paisagística), fertilização de solos destinados à silvicultura (espécies cujo fruto não se utilize na alimentação humana ou animal), culturas bioenergéticas, jardinagem, produção florícola (excluem-se as culturas edíveis) e ainda campos de futebol e de golfe (Decreto-Lei nº 103/ 2015).

#### 2.1.4. Estabilidade e Maturação do Composto

Existe alguma dificuldade em diferenciar composto estabilizado de composto maturado, uma vez que existe uma sobreposição entre o fim da fase ativa e o início da fase de maturação do processo de compostagem (Cunha-Queda, 1999).

Estabilidade corresponde à oxidação dos materiais orgânicos e a sua conversão numa forma menos suscetível de ser degradada, ou seja, mais estável. Embora seja ainda possível ocorrer degradação, esta ocorre numa taxa muito menor comparativamente aos materiais iniciais (Haug, 1980).

Maturação de um composto pode-se definir como o grau de estabilidade das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, e ainda se pode considerar um fator importante que afeta o sucesso da utilização agrícola dos compostos, bem como os impactes ambientais provocados pela utilização dos mesmos (He *et al.*, 1992). No entanto, também se pode considerar que a maturação é o grau de acabamento do processo de compostagem, e como tal, os compostos não maturados podem exibir um potencial negativo no desenvolvimento das plantas (Buchanan *et al.*, 2002).

Compostos não estabilizados ou não maturados podem causar diversos problemas de odores e fitotoxicidade durante o seu armazenamento e aplicação nos solos (CCQC, 2001; Batista e Batista, 2007)

Têm sido propostos vários parâmetros para a avaliação da estabilidade e da maturação dos compostos, não existindo um único parâmetro que, por si só, permita avaliar a qualidade dos compostos (Cunha Queda, 1999). De acordo com *California Compost Quality Council* - CCQC (2001), a avaliação da estabilidade e maturação classifica-se através de três graus de maturação distintos, que se encontram representados na tabela 2.4.

**Tabela 2.4.** Graus de maturação do composto (Adaptado: CCQC, 2001)

Muito Maturado	Maturado	Não Maturado
Composto bem maturado	Composto maturado	Composto não maturado
Decomposição muito reduzida	Produção insignificativa de odores	Produção de odores
Sem odores	Potencial fitotóxico limitado	Elevado potencial fitotóxico
Sem potencial fitotóxico	Impacto reduzido no azoto disponível para plantas	Impacto significativo no azoto disponível para as plantas

De acordo com CCQC (2001), os compostos que apresentem uma razão C:N inferior ou igual a 25:1 devem ser testados através de pelo menos um dos índices de estabilidade e maturação representados na tabela 2.5. Caso a razão C:N do composto seja superior a 25:1 classifica-se como não maturado.

**Tabela 2.5.** Parâmetros aplicados na avaliação integrada dos índices de estabilidade e maturação (Adaptado: CCQC, 2001)

Parâmetros Aplicados na Avaliação dos Índices	
Estabilidade	Maturação
Taxa específica de consumo de oxigénio	Teor em amónio
Taxa de emissão de dióxido de carbono	Relação amónio:nitrato
Teste de auto-aquecimento de Dewar	Teste de emergência e vigor de rebentos
Determinação do dióxido de carbono pela técnica <i>headspace</i>	Teste de germinação <i>in-vitro</i> e crescimento de raízes
Teor de carbono disponibilizado biologicamente	Bioensaio com minhocas
	Teor de ácidos orgânicos voláteis

A figura 2.9. representa a matriz de avaliação do grau de maturação do composto após a determinação da estabilidade. Verifica-se que um composto estável pode ser maturado ou não maturado no entanto, um composto maturado é obrigatoriamente estável ou muito estável.

	Grau de maturação	
Muito estável	Muito maturado	
Estável	Maturado	
Pouco estável	Não maturado	

**Figura 2.9.** Matriz de avaliação do grau de maturação (CCQC, 2001)

A maturação e a estabilidade dos compostos pode ser avaliada das mais diversas formas, e a tabela 2.6. resume alguns dos principais métodos propostos.



**Tabela 2.6.** Metodologias e parâmetros discutidos na literatura para avaliação da estabilidade e maturação dos compostos (Adaptado: Chen *et al.*, 1990; He *et al.*, 1992)

Método	Parâmetro/ Designação
Químicos	Relação C/N; lões solúveis em água por exemplo $\text{NO}_3^-$ (nitrato) e $\text{NH}_4^+$ (amónio); MO (matéria orgânica) solúvel em água; Capacidade de troca catiónica; Composição da fibra bruta; pH; Substâncias degradáveis.
Físicos	Temperatura; Cor; Odor; Granulometria; Teores de ar e água.
Ensaio microbiológicos	Microrganismos indicadores; Taxa de respiração; Atividade e biomassa dos microrganismos; Supressão de agentes fito patogénicos.
Ensaio biológicos	Germinação de agrião em extrato aquoso (teste de fitotoxicidade); Crescimento de azevém em substratos com composto; Desenvolvimento de plântulas em extratos aquosos e no composto.
Espectroscopia	Em fase sólida; Infravermelhos.
Grau de humificação	Substâncias húmicas totais; Teores e relações de ácidos húmicos, fúlvicos e de frações não húmicas; Teor de grupos funcionais.

O auto-aquecimento é um método aplicado com frequência para avaliação da estabilidade dos compostos uma vez que neste caso, a produção de calor está diretamente relacionada com a atividade microbiológica (FCQAO, 2003). A tabela 2.7. apresenta as categorias para avaliação do grau de estabilidade do composto em função da temperatura máxima registada no ensaio.

**Tabela 2.7.** Grau de Estabilidade do composto em função da temperatura máxima do ensaio de auto-aquecimento (Adaptado de FQCAO, 2003)

Grau de Estabilidade	T máxima (°C)	Designação do produto
I	>60	Material inicial
II	50.1 – 60.0	Composto Fresco
III	40.1 – 50.0	Composto Fresco
IV	30.1 – 40.0	Composto Maturado
V	= 30	Composto Maturado

Os resultados do teste de auto-aquecimento devem ser comparados com os de um ensaio de respirometria, mais especificamente a quantidade de  $\text{CO}_2$  produzida em meio sólido e em condições de compostagem. Esta comparação deve ser feita uma vez que o calor produzido é resultante da atividade microbiológica (Brinton *et al.*, 2001). Na tabela 2.8. está apresentada a relação existente entre os dois ensaios, de auto-aquecimento e respirometria.

**Tabela 2.8.** Relação dos ensaios de auto-aquecimento e respirometria (Adaptado: Brinton *et al.*, 2001)

Grau de estabilidade (Dewar)	mg CO <sub>2</sub> -C/gC.dia	Taxa de respiração
-	>25	Alta
-	15-25	Média-alta
I-II	8-15	Média
III-IV	2-8	Moderadamente baixa
V	0-2	Muito baixa

Segundo Zucconi *et al.*, (1981) e Iannotti *et al.*, (1993), para determinar o grau de maturação dos compostos são utilizados os testes de germinação e crescimento de biomassa vegetal, através dos potenciais efeitos de fitotoxicidade em plantas indicadoras. Nestes ensaios, é comparado o número de sementes germinadas ou a biomassa desenvolvida na presença de uma amostra de composto com um controle.

## 2.2. Normas Técnicas utilizadas na avaliação da biodegradabilidade

A biodegradabilidade aeróbia é a decomposição de um composto químico orgânico por microrganismos, em dióxido de carbono, água e sais minerais resultantes de outros elementos presentes (mineralização) e biomassa nova (NP EN 13432, 2015).

A biodegradabilidade das substâncias depende da estrutura molecular das mesmas, e os testes de biodegradabilidade são normalmente usados para prever o comportamento da decomposição de um material ou substância em ambiente natural (Pagga, 1997).

Na avaliação da biodegradabilidade dos materiais, mais precisamente na parte da qualidade do composto produzido são utilizadas normas que permitem avaliar a fitotoxicidade (EN 16086-1:2011) e avaliar a desintegração (ISO 20200: 2004).

### 2.2.1. Norma EN 16086-1:2011 - Avaliação da Fitotoxicidade

Segundo Aslam (2008), a fitotoxicidade é a intoxicação de plantas vivas por substâncias presentes ou produzidas no meio de crescimento, que são absorvidas e acumuladas no tecido vegetal das mesmas. A avaliação da fitotoxicidade de um composto permite determinar se existem substâncias que possam inibir a germinação de sementes, o crescimento das raízes ou o desenvolvimento das plantas (Trautmann e Krasny, 1997).

A maioria das substâncias que causam fitotoxicidade é produzida durante o estágio ativo do processo de compostagem, nomeadamente o amoníaco, que afeta o metabolismo e o crescimento das plantas (Hoekstra *et al.*, 2002). No entanto, a fitotoxicidade também pode ser originada por outros fatores, nomeadamente a existência de metais pesados ou pesticidas já presentes nas matérias-primas, ou ainda pelo excesso de salinidade. Esta diversidade de fatores que podem

causar a fitotoxicidade constitui uma limitação na aplicação da sua avaliação como indicador de maturação do composto (Belo, 2011).

Visto que a fitotoxicidade é uma característica que varia ao longo do processo de compostagem, a sua ausência indica que o composto se encontra estabilizado e maturado. Desta forma, a sua determinação no produto final é fundamental para que se possa avaliar a potencialidade da utilização do corretivo orgânico na agricultura, sem que haja ocorrência de efeitos negativos ao nível da germinação das sementes e do crescimento e desenvolvimento das plantas (Cunha-Queda, 1999).

Geralmente a fitotoxicidade é avaliada recorrendo a ensaios simulando as condições de utilização pretendidas (Candeias, 1996), como é o caso do Índice de Germinação de sementes e do Índice de Crescimento de plantas consideradas indicadoras.

### **Ensaio de Germinação**

Os ensaios de germinação têm como principal objetivo comprovar os possíveis efeitos fitotóxicos dos materiais. Para isso determina-se a percentagem de germinação na presença de uma amostra de composto e compara-se com uma testemunha, ensaio em branco (Ramos, 2016).

Para avaliar o índice de germinação, Tiquia, 2010 sugere realizar um ensaio através da espécie *Lepidium sativum* L. - agrião, onde se aplicam diferentes concentrações de extrato aquoso a partir das amostras de composto. A amostra do composto terá de ser seca (80°C) e crivada (2 mm), posteriormente misturada com água destilada, pré aquecida a 60 °C, nas proporções de 0, 20 e 40 % (volume/volume). De seguida coloca-se num agitador rotativo a 200 rpm durante 3 horas. Dos extratos, que se obtém por filtragem através de discos Whatman 2, pipetam-se 3 ml para placas de Petri de 9 cm diâmetro, previamente forradas com discos de papel de filtro Whatman 42. Distribuem-se 50 sementes de agrião por cada placa de Petri, que depois de devidamente seladas com parafilme, se colocam numa estufa a temperatura controlada de 28° C, sem iluminação. A percentagem de germinação regista-se ao quarto e décimo dia.

Segundo Zucconi e Bertoldi, (1987) o composto considera-se maturado, ou seja, não fitotóxico se índice de germinação for superior a 60% para a diluição a 30% de extrato do composto.

A tabela 2.9. apresenta diferentes abordagens utilizadas para qualificar a fitotoxicidade, uma vez que diferentes autores referem diferentes classificações. Através da tabela, pode-se ainda concluir que um grau de germinação de 60% é o valor mais referido para se considerar que a inibição de germinação é moderada, e portanto é segura a aplicação do composto (Gómez-Brandón *et al.*, 2008 cit. Zucconi *et al.*, 1981). Graus de germinação superiores a 80% indicam que o composto está livre de fitotoxinas e que se encontra maturado (Tiquia, 2010 cit. Zucconi *et al.*, 1981; Tiquia *et al.*, 1998).

**Tabela 2.9.** Classificações possíveis dos níveis de fitotoxicidade (Adaptado: Belo, 2011)

Referências	Grau de Germinação (%)	Classificação
Trautmann e Krasny, 1997	80-100	Não inibe o crescimento da planta
	60-80	Inibição moderada
	40-60	Inibição forte
	<40	Inibição severa
Batista e Batista, 2007 (cit. Woods End, 2000)	>85	V- não tóxico
	70-80	IV- moderadamente tóxico
	50-70	III- tóxico
	30-50	II- muito tóxico
	<30	I- extremamente tóxico
Batista e Batista, 2007 (cit. Brinton <i>et al.</i> , 2001)	>90	Bastante maturado
	80-90	Maturado
	<80	Imaturo
Bernal <i>et al.</i> , 2009 (cit. Zucconi <i>et al.</i> , 1981)	>50	Maturado
Wong <i>et al.</i> , 2001 (cit. Zucconi <i>et al.</i> , 1981)	>50	Composto livre de fitotoxinas
Ortega <i>et al.</i> , 1996 (cit. Zucconi <i>et al.</i> , 1985)	<60	Produto orgânico considerado fitotóxico
Cabañas-Vargas <i>et al.</i> , 2005 (cit. Zucconi e de Bertoldi, 1987)	>60	Maturado
Gómez-Brandón <i>et al.</i> , 2008 (cit. Zucconi e de Bertoldi, 1987)	>60	Limite que reduz a fitotoxicidade para níveis aceitáveis para aplicação segura no solo
Helfrich <i>et al.</i> , 1998	≥70	Baixo nível de fitotoxinas
Fang e Wong, 1999 (cit Rifaldi <i>et al.</i> , 1986)	>80	Não fitotóxico
He <i>et al.</i> , 2009 (cit Zucconi <i>et al.</i> , 1981)	>80	Composto livre de fitotoxinas
Tiquia, 2010 (cit Zucconi <i>et al.</i> , 1981; Tiquia e Tam, 1998)	>80	Composto livre de fitotoxinas
Gao <i>et al.</i> , 2010 (cit Zucconi <i>et al.</i> , 1981; Tiquia e Tam, 1998)	>80	Composto livre de fitotoxinas; maturado
Delgado <i>et al.</i> , 2010	>100	Estimula as propriedades do solo

### **Ensaio de Crescimento**

Para avaliar o índice de crescimento da biomassa, Batista e Batista (2007) e Fuentes *et al.* (2005) sugerem realizar ensaios em vasos com diferentes proporções das amostras de composto. A espécie indicadora, *Lepidium sativum* L. – agrião ou *Hordeum vulgare* L. – cevada, tem de ser acompanhada durante cerca de 21 dias para que ocorra o seu desenvolvimento e após este período, a biomassa produzida é pesada e comparada com o controlo. Para que um composto não se considere fitotóxico o seu índice de crescimento tem de ser superior a 100%, no entanto, este ensaio não é obrigatório se o índice de germinação for superior a 70%.

Os ensaios referidos anteriormente para avaliar os índices de germinação e de crescimento podem realizar-se de diversas formas uma vez que existem variadas versões, diferindo especialmente na espécie indicadora por esta ser mais ou menos sensível na resposta aos fatores responsáveis pela fitotoxicidade. Podem também variar o procedimento de mistura do composto, extração em meio aquoso ou amostra sólida, ou o substrato usado no controlo, como turfa, turfa e areia, substrato inorgânico, solo natural, entre outros (Zucconi *et al.*, 1981; Iannotti *et al.*, 1993; Sánchez-Monedero *et al.*, 2002; Fuentes *et al.*, 2005; Batista e Batista, 2007).

Posteriormente a todas estas versões já existentes, surge a norma EN 16086-1:2011 que estabelece um método para que se possa avaliar a resposta das plantas à aplicação de corretivos orgânicos. Esta engloba os dois ensaios, de germinação e de crescimento, em simultâneo e permite escolher o método de adição de composto (extrato aquoso ou amostra sólida original). Como espécie indicadora refere a couve chinesa (*Brassica napa ssp. pekinensis*), no entanto pode-se também utilizar a cevada de primavera (*Hordeum vulgare*).

A norma EN 16086-1:2011 exige que seja testado um rácio de mistura correspondente à situação de maior concentração de composto e sugere um segundo rácio de carácter facultativo. No caso dos compostos derivados de RSU é obrigatório testar-se para um rácio de 50:50 de composto e substrato de cultura, turfa, e facultativo o rácio de 25:75. Estas misturas são colocadas em vasos, em triplicados, e o teste decorre até que apareça a quinta folha verdadeira em pelo menos 50% dos vasos de controlo. Ao quinto dia de ensaio é registado o número de sementes que germinou e no final do ensaio é recuperada a biomassa desenvolvida, pesada e comparada com o controlo, para que se possa expressar o índice de germinação e o índice de crescimento. De seguida, comparam-se estes índices com os valores estabelecidos nos critérios em diferentes literaturas.

Na tabela 2.10. estão apresentados os critérios disponíveis para avaliação dos efeitos de fitotoxicidade dos compostos, relativamente aos testes de germinação e crescimento.

**Tabela 2.10.** Critérios de avaliação dos efeitos de fitotoxicidade dos compostos (Adaptado: Lopes, 2013)

Fonte	Avaliação	Descrição
CCQC (2001)	Índice de Germinação (G)>90%	Composto bem maturado
	80%<G<90%	Composto maturado
	G<80%	Composto não maturado
Gonçalves e Baptista (2001) in: Lopes, 2013	Índice de Crescimento (C)>90% (para os rácios de 50/50 e 25/75)	Composto de ótima qualidade, adequado como substrato de suporte de culturas
	C>90% (25/75) e C<90% (50/50)	Composto com qualidade suficiente para ser aplicado somente como corretivo orgânico dos solos
	C<90% (25/75) e (50/50)	Composto não apresenta qualidade para aplicação como corretivo orgânico
EN 13432:2000	G>90% ; C>90%	Composto não tem efeitos fitotóxicos

A norma EN 16086-1:2011 não apresenta quaisquer valores de referência para a interpretação dos resultados, nem define critérios de classificação dos compostos de acordo com os efeitos no crescimento das plantas.

Os resultados desenvolvidos pelo índice de Inibição de Crescimento (InC) permitem uma avaliação da maturação dos compostos com maior rigor e abrangência em comparação com o Índice de Inibição da Germinação (InG). Isto acontece porque os valores utilizados no calculo do índice de inibição de crescimento são valores do fim do ensaio, enquanto que os valores utilizados no calculo do índice de inibição de germinação são valores do quinto dia do ensaio (Pinto, 2013).

### **Turfa**

A turfa é um substrato importado das regiões nórdicas, considerado um recurso finito, muito caro e de formação lenta. A extração e a utilização deste recurso natural são restringidas devido à problemática de carácter ambiental à escala mundial existente, o que leva ao maior interesse em incentivar o uso agrícola do composto. (Cunha-Queda *et al.*, 2007).

As turfeiras são locais de acumulação de musgo de esfagno entre outros resíduos vegetais, contém turfa num conjunto de diversas camadas que crescem a uma taxa estimada de cerca de 5 centímetros por cada 100 anos. A diferente coloração da turfa associa-se ao diferente teor em carbono do material. Isto deve-se a uma ligeira decomposição da biomassa vegetal depositada e concentrada em profundidade, em áreas húmidas, ácidas e sob condições anaeróbias (EPAGMA, 2009 in: Pinto, 2013).

Segundo Robbins e Evans (2005), a turfa no seu estado natural é constituída por substâncias esponjosas e fibrosas, apresenta uma coloração que pode variar de castanho pálido a castanho escuro ou até mesmo a preto, normalmente designada por turfa loira, castanha ou escura. Pode

afirmar-se que a nível agrícola, apresenta umas ótimas propriedades físicas pois é um substrato leve, estável e muito ácido. No entanto, como possui uma elevada capacidade de retenção de água pode condicionar as condições de drenagem e arejamento.

A turfa possui uma grande importância ao nível da produção de energia, devido às suas propriedades combustíveis. Isto provoca uma elevada procura, que posteriormente é acompanhada pela deterioração da qualidade agrícola e pelo aumento do preço de comercialização. Apesar destes dois pontos desfavoráveis, é o substrato mais utilizado na formulação de suportes de cultura por produtores agrícolas profissionais (EPAGMA, 2009 in: Pinto, 2013).

### ***Quantidade de nutrientes durante o teste***

De acordo com a norma EN 16086-1:2011, existem diversas razões para que ocorram ajustes nutricionais durante o teste. Sabe-se que diferenças na quantidade de nutrientes disponível (especialmente azoto) pode afetar fortemente o peso fresco da planta no final do ensaio de crescimento de casa vaso. Se o teor de nutrientes existente na amostra de teste não permitir que haja fertilização, poderão ser registadas diferenças entre o peso fresco das plantas da amostra de teste e o peso fresco das plantas da amostra de controlo. Desta forma, pode ocorrer uma interpretação errada sobre o efeito do material de teste no crescimento da planta. Para materiais de teste com um elevado teor de nutrientes, é aconselhável um ajuste nutricional baseado numa análise de substrato, para facilitar a interpretação das diferenças no peso fresco. Pela mesma razão, o ajuste do azoto para materiais de teste é possível.

Independentemente do modo de ajuste nutricional a ser utilizado, a turfa de esfagno usada como amostra de controlo deve ser fertilizada e deve-se também adicionar cal para correção do valor de pH. O teor de azoto que se utiliza para fertilizar a turfa de esfagno baseia-se sempre na proporção da mistura turfa: amostra de ensaio. O fornecimento da amostra de teste preparada com todos os outros nutrientes essenciais tem que ser suficiente para o crescimento da planta não ser perturbado.

Quando o teor de azoto é inferior a  $225 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$ , adiciona-se um adubo completo solúvel em água com micronutrientes essenciais, a uma taxa que permite ajustar o nível de azoto da amostra de ensaio preparada para  $(225 \pm 25) \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$  (por exemplo, utilizando um adubo completo solúvel em água N:  $\text{P}_2\text{O}_5$ :  $\text{K}_2\text{O}$  - 15: 10: 20).

Quando o teor de azoto é superior a  $225 \text{ mg N} \cdot \text{L}^{-1}$ , não se deve adicionar mais nada para ajustar o nível de azoto. No entanto, a turfa de esfagno utilizada no controlo já sofreu a adição de calcário para que o valor do pH fique ajustado entre o 5,5 e o 6,5.

Se ocorrerem ajustes nutricionais adicionais por causa das propriedades especiais do material de teste, têm que ser feitos de acordo com a boa prática de horticultura.

### 2.2.2. ISO 20200: 2004 - Avaliação da Desintegração

A compostabilidade é a capacidade de um material ser biodegradado através de um processo de compostagem. Para se afirmar que um material é compostável, deve-se demonstrar que pode ser biodegradado, desintegrado através de um sistema de compostagem e que completa a sua biodegradação durante a fase final do composto. Este deve atender a diversos critérios de qualidade tais como um baixo teor de metais pesados e a ausência de resíduos facilmente distinguíveis. Visto que um dos requisitos necessários para que um material se possa considerar compostável, é a comprovação da sua capacidade de desintegração num processo de tratamento biológico de resíduos, encontram-se diversas metodologias e requisitos para que este parâmetro possa ser comprovado na tabela 2.11. (Pagga, 1997, 1998, 1999; DeWilde e Boelens, 1998; Sawada, 1998).

**Tabela 2.11.** Metodologias e requisitos necessários para determinar o grau de desintegração do material de estudo (Adaptado de Weber, 2001)

Descritor	DIN V 54900-3	NP EN 13432:2015	ASTM D6400
<b>Metodologia de teste</b>	Teste à escala piloto sob condições de compostagem otimizadas	Não é especificado. ISO 16929:2002 ou NP EN 14045:2011 (teste à escala piloto obrigatório)	Sub - cláusula 6.2; (ASTM D 6002-96: Sub – cláusula 7.2.1)
	Teste à escala industrial sob condições de compostagem	Não é especificado (teste à escala industrial facultativo)	-
<b>Duração máxima</b>	12 semanas (teste à escala piloto) 10 a 15 semanas (teste à escala industrial)	12 semanas	5 semanas (podendo ser estendido)
<b>Nível requerido de degradação</b>	90% da fração crivada < 2 mm	90% da fração crivada < 2 mm	90% da fração crivada < 2 mm

A verificação da desintegração do material num processo de degradação aeróbia é importante para perceber a sua compatibilidade com as exigências e com as limitações técnicas de uma estação de compostagem real. Esta verificação é necessária, uma vez que é decisiva para a aceitação dos materiais no fluxo de resíduos e também para a despistagem de contaminantes que comprometam a qualidade final do composto (DeWilde e Boelens, 1998; Raninger *et al.*, 2002).

A norma DIN V 54900-3 refere, de uma forma específica, qual o método que se deve utilizar para os testes de desintegração à escala laboratorial e à escala industrial, ao contrario das normas NP EN 13432 (2015) e ASTM D 6400 (1999). Estas duas últimas apenas referem os critérios para o



teste, mas não especificam qual o método a utilizar para o teste da desintegração. A norma DIN V 54900-3 propõe um teste à escala laboratorial e outro à escala real, enquanto que a norma ASTM D 6400 propõe apenas um teste à escala laboratorial e a norma NP EN 13432 (2015) descreve o teste à escala laboratorial como método de referência, aceitando, no entanto, como equivalente o teste de uma estação de tratamento à escala real ou industrial. A norma NP EN 13432 (2015) refere o facto da natureza e das condições analíticas do teste de desintegração não permitirem distinguir entre biodegradação e desintegração, mas que este teste é requerido para demonstrar que se obtém um grau de desintegração suficiente com um tempo específico de tratamento de resíduos biológicos.

Segundo a norma DIN V 54900-3, o teste à escala real refere que o ensaio deve realizar-se numa estação de compostagem de baixo nível tecnológico, sem controlo automatizado e sem ventilação forçada. O material de teste mistura-se com os resíduos na proporção de 1% e de seguida as misturas são colocadas em sacos amostra, isoladas do substrato em compostagem (de forma a facilitar a observação de alterações no material de teste). Estes sacos-amostra devem ser retirados da pilha de compostagem em intervalos de tempo regulares para avaliação do conteúdo. Deve-se controlar, de uma forma continua, a temperatura tanto no composto como nos sacos-amostra, através de sondas ou sensores previamente colocados no local. Segundo Bastioli (2005), para se poder avaliar a degradação e todo o processo de compostagem global deve-se determinar a humidade, a perda de sólidos voláteis, o pH e ainda realizar uma apreciação visual.

Para determinar o grau de desintegração também se pode seguir a metodologia descrita na ISO 20200:2004 que da mesma forma que as anteriormente referidas, simula condições de compostagem à escala laboratorial e apresenta um método simples e menos sofisticado a nível de equipamentos e procedimentos requeridos. O procedimento referido na norma ISO 20200:2004 consiste em misturar o material teste com o composto (resíduo sólido sintético padrão e homogéneo) em reatores simples, ou seja, em caixas de polipropileno com dimensões determinadas e com um pequeno orifício de 5 mm para que possam ocorrer as trocas gasosas. O resíduo sintético é de composição constante e desprovido de qualquer material plástico indesejado que possa ser erroneamente identificado como material de teste no final do teste, alterando a avaliação final. A composição dos resíduos sintéticos utilizados neste método está descrita na tabela 2.12 que se segue. A serradura que se deve usar é de madeira não tratada e de preferência de árvores caducifólias, deve ser peneirada através de um crivo de 5 mm antes do uso. A ração de coelho deve ser um produto comercial à base de luzerna (*Medicago sativa*) e farinha de legumes. O teor de proteínas da ração para coelhos será de aproximadamente 15% e o conteúdo de celulose aproximadamente 20%.

**Tabela 2.12.** Composição de Resíduos Sólidos Sintéticos (Norma ISO 20200:2004)

Material	Quantidade (%)
Serradura de madeira	40
Ração de coelho	30
Composto maturado	10
Amido de milho	10
Sacarose	5
Óleo de milho	4
Ureia	1

Os reatores permanecem à temperatura constante de  $58 \pm 2$  °C com arejamento de ar, ou seja estufa com ventilação durante um mínimo de 45 dias e um máximo de 90 dias. A norma apresenta uma calendarização de procedimentos a realizar, tais como a correção da humidade através da adição de água e o revolvimento do conteúdo de cada reator. Relativamente ao grau de desintegração do material teste, pode afirmar-se que é determinado de forma idêntica ao das normas DIN V 54900-3 (1998), NP EN 13432 (2015) e ASTM D 6400 (1999). O grau de desintegração requerido por estes testes é de 90% da fração crivada inferior a 2 mm.

Nos ensaios de desintegração não é possível averiguar a biodegradabilidade do material (Pagga, 1999). Existe uma vasta gama de fatores abióticos que influenciam o processo de desintegração física do material, tais como o calor, a radiação ultravioleta, os esforços físicos (tração, tensão e rasgamento) e a oxidação (Krzan *et al.*, 2006; Hemjinda *et al.*, 2007; Lucas *et al.*, 2008).

No final do ciclo de compostagem, a desintegração é medida pela peneiração do composto e pelo cálculo do balanço mássico (ISO 16929:2002, NP EN 14045:2011). Segundo Lopes (2013) não é possível separar as frações de cada mistura na perda de peso registada. Desta forma, este balanço mássico referido na norma NP EN 14045:2011 não poderá servir para avaliar a degradação específica das amostras.

De acordo com a ISO 20200:2004 a mistura do material de teste com os resíduos é feita na proporção 0,5% a 2% e a desintegração determina-se de forma semelhante às outras duas normas referidas anteriormente. Lopes (2013) alterou o rácio substrato/material em estudo face à norma ISO 20200:2004 para valores mais próximos dos ensaios à escala laboratorial. Desta forma, a avaliação visual no final do teste torna-se mais fácil. No entanto a amostra vai aparecer numa proporção muito superior ao definido na norma e por sua vez o processo de degradação vai ocorrer de uma forma mais lenta. O procedimento de ensaio falha, uma vez que é impossível saber se o peso seco (ps) registado é relativo unicamente ao material em estudo, ou se este possui resíduos de composto ligado, desta forma os resultados irão apresentar sempre um erro associado (Lopes, 2013). No sentido de otimizar a metodologia, Lopes (2013) propõe realizar ensaios de biodegradabilidade à escala laboratorial com alteração da relação C/N das misturas, para otimizar a degradação.

### ***Indústria Têxtil - Pelo e Feltro de Coelho***

A indústria têxtil é uma das indústrias mais antigas do mundo e das que conseguiu atingir grandes dimensões. Tem crescido a par da população, visto que é um dos elementos essenciais ao ser humano (Pensupa *et al.*, 2017). Os têxteis são materiais fabricados a partir de fibras ou pele (Bento, 2013). Para realizar o ensaio de desintegração desta dissertação, escolheu-se o pelo e o feltro de coelho.

Segundo Cook (1984), o pelo de coelho sempre foi muito utilizado na indústria têxtil, onde a maior parte das fibras são utilizadas na produção de feltro e artigos de malha. O feltro de pelo de coelho é um têxtil de origem animal que pertence ao grupo dos tecidos-não-tecidos. O pelo de coelho é constituído por fibras finas e macias e também pelo *guard hair* que é a camada superior e visível, geralmente mais grossa, e que serve para proteger as camadas mais finas e inferiores. Estas camadas anteriormente referidas apresentam propriedades diferentes, o pelo mais fino dá calor e suavidade e o mais grosso força e beleza.

O pelo de coelho também contém queratina, tal como outras fibras de origem animal. A queratina é constituída por carbono, hidrogénio, oxigénio, azoto e enxofre e está presente numa grande região do corpo do animal. O pelo possui características tais como a capacidade de absorver água muito facilmente e o facto de a água quente suavizar e plastificar as fibras (Cook, 1984).

O feltro é feito a partir das fibras animais sujeitas à humidade, ao calor e à ação mecânica. É este processo que faz do feltro um tecido-não-tecido, uma vez que apenas altera as características estruturais das fibras. É um processo irreversível e faz com que as escamas das fibras se interliguem e encaixem, o que leva a que o tecido ganhe espessura, perca elasticidade, e os contornos e padrões das fibras fiquem impercetíveis como consequência da compactação (Tridico, 2009; Vaccaro, 2010).

Para melhorar a qualidade do feltro que se utiliza na produção de chapéus, é necessário deteriorar a queratina superficial das fibras com soluções ácidas (Crean, 1962). O feltro não é apenas utilizado nas indústrias dos chapéus mas também em vestuários e cortinas, na produção de materiais de isolamento térmico, polimento e embalagens, e é ainda usado para estofar mobiliário (Tridico, 2009).



### 3. Plano Experimental

Os procedimentos experimentais desenvolvidos para cumprimento dos objetivos da presente dissertação encontram-se resumidos na tabela 3.1. Estes dividem-se em três fases, uma primeira fase de caracterização geral dos materiais teste e inoculo, uma segunda fase onde decorreram os testes de fitotoxicidade e uma terceira fase em que foram realizados os testes de desintegração.

**Tabela 3.1.** Plano Experimental

1ª Fase: Caracterização geral (parâmetros físico-químicos) dos materiais teste e inóculo.			
2ª Fase: Teste de Fitotoxicidade			
Ensaio	Misturas	Objetivo	Descrição
F1	Turfa	Determinar os efeitos fitotóxicos dos diferentes compostos	Ensaio de germinação e desenvolvimento de biomassa vegetal, de acordo com a norma EN 16086-1:2011
F2	Turfa + CMA (50:50)		
F3	Turfa + CMA (25:75)		
F4	Turfa + CML (50:50)		
F5	Turfa + CML (25:75)		
F6	Turfa + CFL (50:50)		
F7	Turfa + CFL (25:75)		
3ª Fase: Estudo da variabilidade de pH da turfa com as diferentes quantidades de cal			
Ensaio	Misturas	Objetivo	Descrição
F8	Turfa + 0 g/L	Verificar qual o intervalo de pH ideal para a turfa	Ensaio de germinação de acordo com a norma EN 16086-1:2011, com algumas adaptações
F9	Turfa + 5 g/L		
F10	Turfa + 7,5 g/L		
F11	Turfa + 10 g/L		
F12	Turfa + 15 g/L		
4ª Fase: Teste de Desintegração			
Ensaio	Misturas	Objetivo	Descrição
D1	Inoculo	Determinar o grau de desintegração de cada um dos materiais em teste após crivagem das misturas	90 dias, em condições de compostagem, de acordo com a norma ISO 20200:2015
	Inoculo + PNC		
	Inoculo + PNA		
	Inoculo + FNT		
	Inoculo + FTSG		
	Inoculo + FTCG		
CMA – Composto Maturado Amarsul; CML – Composto Maturado Lipor; CFL – Composto Fresco Lipor; PNC – Pelo Natural Cru; PNA – Pelo Natural Acabado; FNT – Feltro Não Tingido; FTSG – Feltro Tingido Sem Goma; FTCG – Feltro Tingido Com Goma.			



## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Compostos de Resíduos Orgânicos

#### 4.1.1. Composto Maturado Amarsul (CMA) – Amarterra

O composto produzido pela Amarsul designa-se Amarterra, é um corretivo agrícola rico em matéria orgânica humificada e produzido a partir dos resíduos orgânicos provenientes da recolha indiferenciada efetuada pelas viaturas municipais. A sua aplicação permite repor o equilíbrio dinâmico dos solos, fomentando a diversidade biótica, reforçando o arejamento e a capacidade de retenção de água (Amarsul, 2016). À vista desarmada, era um composto que continha muitos plásticos.

#### 4.1.2. Composto Maturado Lipor (CML) – Nutrimais

O composto produzido pela Lipor designa-se Nutrimais (Figura 4.1.) e é um composto feito à base de produtos hortofrutícolas, restos de alimentos criteriosamente selecionados em restaurantes, cantinas e estabelecimentos similares, resíduos de exploração florestal (troncos, ramagens, folhagem), resíduos verdes (flores, relvas, podas, etc.) e ainda materiais impróprios para consumo humano ou processamento (frutas e legumes). O Nutrimais é um corretivo agrícola orgânico, proveniente da compostagem de matérias-primas separadas na origem e a sua aplicação regular aos solos agrícolas resulta na manutenção ou aumento da fertilidade natural desses mesmos solos. Fornece uma gama alargada de nutrientes, visto que na sua origem possui matérias-primas vegetais, que se libertam de forma natural ao longo do tempo e à medida que vai sendo decomposto pela flora microbiana do solo, retendo-os e evitando a sua lavagem para a toalha freática ou cursos de água. (Lipor, 2018).



**Figura 4.1.** Corretivo Orgânico Nutrimais

#### 4.1.3. Composto Fresco Lipor (CFL)

Este composto foi disponibilizado pela empresa Lipor apenas para a realização da presente dissertação, não é comercializado, uma vez que ainda não atingiu a fase de maturação, apenas esteve quinze dias em túnel de compostagem. Era bastante notória a presença de alguns resíduos com dimensões superiores ao que seria esperado, facto que se deve ao mesmo ainda não ter atingido a sua fase de maturação. Apresentava também um elevado odor a amoníaco. O CFL foi o inoculo que se utilizou nos testes de desintegração e desta forma permitiu estabelecer uma relação entre as duas normas estudadas.

## 4.2. Suportes de Cultura – Turfas

### 4.2.1. Turfa Mikskaar

A turfa Mikskaar (Figura 4.3.) é uma turfa loira, mais clara que a turfa anteriormente descrita, e apresenta um valor de pH mais baixo, de aproximadamente 3. Esta turfa apresenta um aspeto muito seco no entanto, ao realizar o cálculo do teor de humidade verifica-se que este teor não é assim tão baixo. O seu revolvimento é um processo bastante complicado devido à compactação que ocorre para ser embalada. Pode ainda dizer-se que apresenta grãos de elevadas dimensões e que tem um aspeto muito palhudo.



Figura 4.2. Turfa

### 4.3. Material teste usado no ensaio de desintegração

Os materiais teste (Figura 4.4.) utilizados para realizar o ensaio de desintegração foram o pelo natural cru (PNC), o pelo natural acabado (PNA), o feltro não tingido (FNT), o feltro tingido sem goma (FTSG) e o feltro tingido com goma (FTCG) fornecidos pela Cortadoria Nacional do Pêlo, S.A., no âmbito de um projeto de investigação a decorrer.

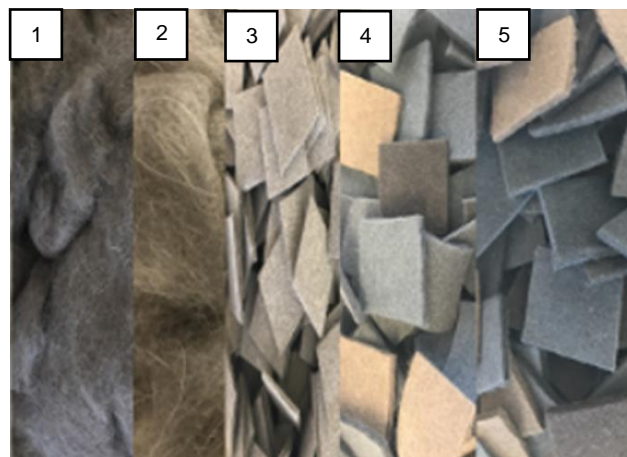


Figura 4.3. Material teste. 1-PNC; 2-PNA; 3-FNT; 4-FTSG; 5-FTCG (Adaptado: Boavida, 2018)

### 4.4. Caracterização Físico – Química

A caracterização das cinco amostras (duas turfas e três compostos) utilizadas nestes ensaios de germinação e de crescimento e no ensaio de desintegração fez-se através dos seguintes parâmetros físico-químicos.



### Teor de Humidade

O teor de humidade da amostra fresca determina-se por gravimetria. Cerca de 100 g de amostra é seca numa estufa (Memmert) à temperatura de  $105 \pm 5$  °C, até atingir um peso constante e posteriormente é pesada. Os resultados são expressos em percentagem de matéria fresca inicial (norma EN 12880:2000). A percentagem de humidade (H (%)) das amostras é determinada pela seguinte equação:

$$H (\%) = \frac{PH - PS_{105\text{ }^{\circ}\text{C}}}{PH} \times 100$$

Onde:

- PH é o peso húmido ou total da amostra;
- $PS_{105\text{ }^{\circ}\text{C}}$  é o peso seco da amostra após ter sido seca a 105 °C em estufa.

### pH

O pH determina-se por potenciometria a partir da mistura de 5 g de peso fresco de amostra com 50 mL de água destilada do tipo III. Esta mistura coloca-se em agitação magnética cerca de duas horas e posteriormente é lido o valor através de um elétrodo de pH (EN 12176:1998).

### Condutividade Elétrica

A CE determina-se por potenciometria a partir da mistura de 5 g de peso fresco de amostra com 50 mL de água destilada do tipo III. Esta mistura coloca-se em agitação magnética cerca de duas horas, a 25 °C e posteriormente é lido o valor através de um elétrodo de condutividade (CEN/BT/Task Force 151 (2005). Determination of electrical conductivity in soil, sewage sludge and biowaste. European Compost Network).

### Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis são determinados por gravimetria. Entre 0,5 a 5 g de amostra seca e triturada (tritador Retsch SM300, Figura 4.5.) a 0,25 mm é incinerada em mufla (mufla Carbolite ESF) à temperatura de  $550 \pm 25$  °C, durante duas horas e, posteriormente pesada em balança analítica de precisão (Mettler H80, d = 0,1 mg). Os resultados são apresentados em percentagem de matéria seca (EN 12879:2000). O teor de sólidos voláteis (SV (%)) é determinado pela seguinte equação:

$$SV (\%) = \frac{PS_{105\text{ }^{\circ}\text{C}} - PS_{550\text{ }^{\circ}\text{C}}}{PS_{105\text{ }^{\circ}\text{C}}} \times 100$$

Onde:

- $PS_{105\text{ }^{\circ}\text{C}}$  é o peso da amostra após ter sido seca à temperatura de 105 °C, em estufa;
- $PS_{550\text{ }^{\circ}\text{C}}$  é o peso das cinzas depois da mesma amostra ter sido colocada na mufla à temperatura de 550 °C



**Figura 4.4.** Triturador Retsch SM300 (Boavida,2018)

### Densidade

A densidade determina-se por gravimetria de acordo com CEN/BT/Task Force 151 (2005). Solid materials. Determination of bulk density. European Compost Network. Procede-se ao enchimento de um recipiente cilíndrico previamente tarado. De modo a haver compactação do material deixa-se cair o recipiente três vezes de uma altura de 5 cm, enchendo-se novamente até perfazer 1 litro. Os resultados são apresentados em g/L de matéria seca.

### Granulometria

Para avaliar a granulometria, faz-se passar a amostra sucessivamente por crivos de malha decrescente e é pesada a fração separada em cada um dos crivos. Os crivos usados (AFNOR) têm uma malha quadrada com os seguintes espaçamentos: 25 mm; 12,5 mm; 6,3 mm; e 2 mm, estando um deles representados na figura 4.6. Os resultados são apresentados em percentagem de matéria fresca inicial (norma UNE 77314:2001).



Figura 4.5. Crivo

### Carbono, azoto, hidrogénio e enxofre elementar

As concentrações de carbono, azoto, hidrogénio e enxofre elementar são determinadas através do analisador elementar modelo *EA-1108 CHNS-O*, da *Carlo Erba Instruments*. A amostra é incinerada à temperatura de 1000 °C, o gás que é libertado passa por uma coluna cromatográfica onde os elementos químicos são separados e quantificados pelo detetor de condutividade térmica, que envia um sinal proporcional à concentração dos elementos analisados. Os resultados são processados em computador e apresentados em percentagem do elemento químico na matéria seca.

### Razão C/N

A razão C/N calcula-se através da seguinte equação:

$$Razão \frac{C}{N} = \frac{\text{Carbono elementar } \%}{\text{Azoto elementar } \%}$$

### Metais Pesados e Macronutrientes

Os teores de metais pesados foram determinados a partir de 0,1 ou 0,5 g de amostra, triturada a 0,25 mm e diluída em água-régia (HCl e HNO<sub>3</sub> na proporção de 3:1). De seguida faz-se a digestão através de microondas (Figura 4.7.) e quantificou-se por ICP-AES (EN 13346:2000).

Os teores de macronutrientes determinaram-se recorrendo ao mesmo procedimento que se usou para os metais pesados, e



Figura 4.6. Microondas

foram eles o pentóxido de fosforo ( $P_2O_5$ ) e o óxido de potássio ( $K_2O$ ). Os valores apresentados na tabela 4.1., que são estabelecidos pelo Decreto-lei nº 103/2015, permitem-nos saber em que classe o composto se insere no que diz respeito ao seu teor de metais pesados.

**Tabela 4.1.** Valores máximos admissíveis para cada classe em miligramas por quilograma de matéria seca (Decreto-Lei nº 103/2015)

Parâmetro	Matéria Fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe IIA	Classe III
Cd (mg/kg ps)	0.7	1.5	3	5
Pb (mg/kg ps)	100	150	300	500
Cu (mg/kg ps)	100	200	400	600
Cr (mg/kg ps)	100	150	300	400
Hg (mg/kg ps)	0.7	1.5	3	5
Ni (mg/kg ps)	50	100	200	200
Zn (mg/kg ps)	200	500	1000	1500

## 4.5. Análise da Estabilidade/ Maturação

### 4.5.1. Teste de auto - aquecimento em vasos Dewar

O teste de auto - aquecimento em vasos de Dewar (Figura 4.8.) ocorre de acordo com os procedimentos referidos no *Determination of Aerobic biological activity – part 2: self heating test for compost (2008), CEN/TC 223*.

Para realizar este teste, o composto foi crivado a 12,5 mm e verificou-se qual a humidade do mesmo, uma vez que esta tem de estar a 35%. Caso não esteja é necessário proceder à sua correção. Encheu-se o vaso Dewar com a amostra preparada até distar 5 cm do topo do vaso e colocou-se um termómetro a 3 cm do fundo. O teste termina assim que o composto evidencie um pico máximo de temperatura, tendo no máximo uma duração de 10 dias. A tabela 4.2. faz a correlação entre a capacidade de auto aquecimento do composto e a respetiva classe de estabilidade, assim como a sua descrição e designação. Na primeira coluna está representada a  $\Delta T_{max}$  (°C), que corresponde à diferença da temperatura de auto aquecimento máxima entre o composto e a temperatura ambiente, na segunda a classe de estabilidade, na terceira a descrição e finalmente na última coluna, a designação.

**Tabela 4.2.** Classes de estabilidade do composto (Brinton *et al.*, 2001)

$\Delta T_{max}$ (°C)	Classe de estabilidade	Descritores	Designação
0 – 10	V	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muito estável</li> <li>Composto bem maturado</li> </ul>	Composto maturado
10 – 20	IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Moderadamente estável</li> <li>Composto a maturar</li> </ul>	
20 – 30	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substratos em compostagem</li> <li>Composto activo</li> </ul>	Composto activo
30 – 40	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composto não maturado, novo ou muito activo</li> </ul>	
> 40	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composto fresco, com mistura de substratos de compostagem</li> </ul>	Composto fresco

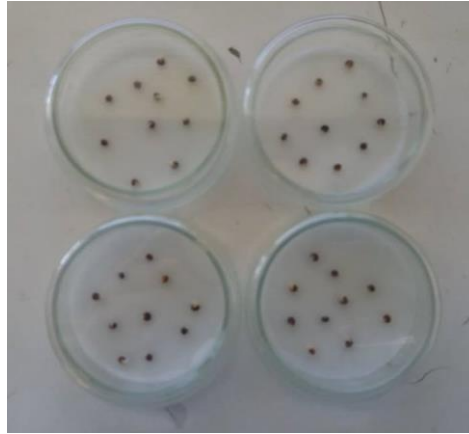


**Figura 4.7.** Vasos Dewar

#### 4.6. Ensaio de Fitotoxicidade

##### **Grau de germinação**

A norma EN 16086-1:2011 afirma que para se poderem utilizar as sementes, o seu grau de germinação tem que ser superior a 95%. Para verificar o grau de germinação das sementes, colocaram-se 10 sementes em cada caixa de Petri (Figura 4.9.) com uma folha de papel de filtro sem cinzas e 1mL de água destilada tipo II, durante 24h, sem luminosidade e à temperatura de 27°C. Fizeram-se quatro réplicas em caixas de Petri de 60 mm.



**Figura 4.8.** Grau de germinação das sementes

#### ***Descrição do Ensaio de Fitotoxicidade***

Os ensaios de determinação da resposta das plantas foram efetuados com couve chinesa (*Brassica napa*, spp. *pekinensis*) e com base na norma EN 16086-1:2011, com algumas adaptações. Este procedimento permite determinar os efeitos de diferentes corretivos orgânicos, juntamente com suportes de cultura no desenvolvimento das plantas por variações na germinação e no crescimento. O ensaio foi realizado com três compostos distintos (CML, CMA e CFL) e teve como objetivo verificar se os mesmos causam efeitos fitotóxicos em espécies vegetais sensíveis. Para este ensaio foram testados trinta vasos de turfa Mikskaar como substrato de controlo que representam o branco do ensaio, trinta vasos de cada um dos compostos misturados com turfa, na proporção de 50:50 em volume/volume, que é obrigatório segundo a norma e ainda trinta vasos de cada um dos compostos misturados com turfa, na proporção de 25:75 em volume/volume que é facultativo.

Ocorreu o enchimento dos 30 vasos a testar e logo de seguida a colocação de 20 sementes em cada vaso. A norma afirma que após a colocação das sementes, deve ser colocada uma fina camada de algodão no entanto, verificou-se que esta impedia o correto crescimento das sementes. Observou-se ainda que o crescimento ocorria por baixo desta fina camada de algodão e que as plantas não tinham capacidade de a ultrapassar. Desta forma, é possível concluir que o crescimento ocorria melhor sem a colocação da fina camada de algodão.

O ensaio foi mantido num ambiente controlado (Figura 4.10.), a uma intensidade de luz superior a 5000 lux e com ciclos diários de iluminação artificial que podiam variar entre as 12 e as 16 horas, à temperatura ambiente de  $25 \pm 2$  °C.

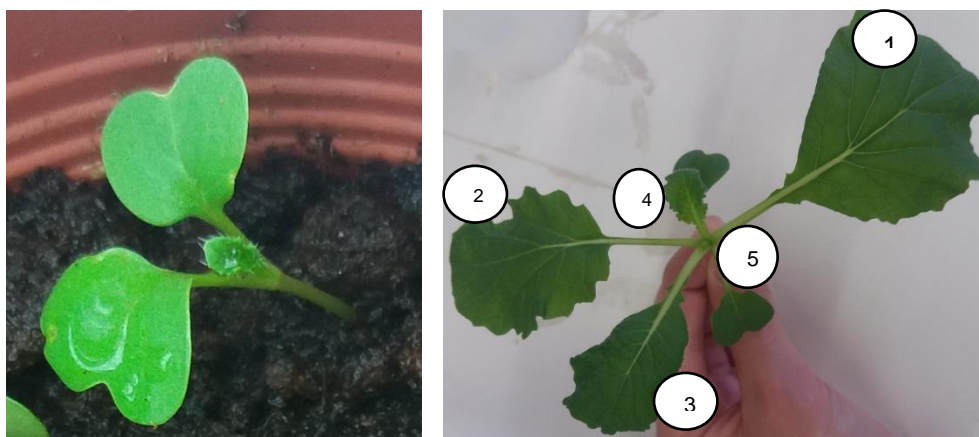




**Figura 4.9.** Ensaio de determinação da resposta das plantas

As couves chinesas foram regadas com água desionizada do tipo III e com uma solução nutritiva composta pelos reagentes apresentados no anexo I na proporção 50/50. A rega ocorria dia sim, dia não e de forma a evitar que ficassem gotículas em contacto directo com as folhas.

A figura 4.11., que se apresenta a seguir, mostra (à esquerda) a fase inicial do crescimento da planta. Como se pode ver, no meio dos dois cotilédones surge a primeira folha verdadeira. À direita pode ver-se uma planta na fase final do ensaio, que é quando 50% das plantas de controlo desenvolvem a quinta folha verdadeira. Como se pode verificar, as folhas verdadeiras diferem estruturalmente dos dois cotilédones que surgem na fase inicial com a germinação.



**Figura 4.10.** Ensaio de determinação da resposta das plantas: Planta com a primeira folha verdadeira e Planta com as cinco folhas verdadeiras

#### 4.6.1. Determinação de efeitos negativos dos compostos testados

De acordo com a tabela 4.3., após cinco dias desde o início do ensaio, determinou-se a taxa de germinação para cada vaso e a média por substrato. No final do ensaio, pesou-se cada uma das plantas e calculou-se os valores médios para cada composto em teste, consoante os resultados obtidos nos vasos replicados. Posteriormente, calculou-se os índices de inibição de germinação e de crescimento para os diversos compostos em teste, em relação aos resultados obtidos pelos substratos de controlo.

**Tabela 4.3.** Cálculos

$TGi (\%) = \frac{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas no vaso } i}{20} \times 100$	Taxa de germinação do vaso i, no dia 5
$TGM (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n TGi}{n}$	Taxa de germinação média por substrato. <i>n</i> representa o nº de vasos replicados
$CVG (\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TGi - TGM)^2}{n - 1}}}{TGM} \times 100$	Coefficiente de variância da taxa de germinação
$PFi (g) = \frac{\text{peso das plantas germinadas no vaso } i}{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas no vaso } i}$	Peso fresco médio das plantas no vaso i, no final do ensaio
$PFm (g) = \frac{\sum_{i=1}^n PFi}{n}$	Peso fresco médio das plantas por substrato
$CVPF (\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PFi - PFm)^2}{n - 1}}}{PFm} \times 100$	Coefficiente de variância do peso fresco das plantas
$InG (\%) = \frac{TGM_{\text{controlo}} - TGM_{\text{composto}}}{TGM_{\text{controlo}}} \times 100$	Inibição de Germinação do Composto
$InC (\%) = \frac{PFm_{\text{controlo}} - PFm_{\text{composto}}}{PFm_{\text{controlo}}} \times 100$	Inibição de Crescimento do Composto

Os resultados da aplicação destas fórmulas encontram-se apresentados nas tabelas 5.8. e 5.9. do capítulo 5 desta dissertação.

A norma EN 16086-1:2011 não apresenta quaisquer valores de referência para que se possa interpretar os resultados, nem define critérios de classificação dos compostos de acordo com os efeitos na germinação e no crescimento das plantas.

Adaptaram-se os critérios de avaliação usados para os testes de germinação e crescimento com sementes de agrião (*Lepidium sativum*) e de rabanete (*Raphanus sativus*) do método proposto por CCME (1996). Este método afirma que a germinação das sementes de agrião e de rabanete no composto deve ser maior do que um valor correspondente a pelo menos 90% da taxa de germinação da amostra de controlo. Relativamente à taxa de crescimento, afirma que esta não deve ser inferior a 50% do crescimento na amostra de controlo.

Desta forma, e visto que se quer interpretar valores de inibição de germinação do composto e valores de inibição de crescimento do composto, considera-se que os resultados dos compostos

testados que excedem os valores de 10% para o InG e 50% para o InC traduzem efeitos negativos significativos no crescimento das plantas.

Se as plantas desenvolverem patologias foliares, ou se ocorrer o desenvolvimento de populações fungicas como as que a seguir se apresentam na figura 4.12., são também reconhecidos efeitos negativos significativos.



**Figura 4.11.** Patologias Foliares e Populações fúngicas

#### 4.6.2. Determinação do pH ideal para a Turfa

A norma EN 16086:2011 refere que o intervalo de pH a que a turfa se deve encontrar é entre 5,5 – 6,5 no entanto, isto é um intervalo muito reduzido, e portanto representa uma grande dificuldade na operação de calagem para correção do mesmo. Desta forma realizaram-se cinco ensaios de trinta vasos cada, apenas com turfa e com diferentes quantidades de cal, de forma a perceber quais os valores de pH que se atingiam com as diferentes quantidades de cal adicionadas. O primeiro ensaio realizou-se sem adicionar cal, e os restantes quatro com 5g/L, 7,5g/L, 10g/L e 15g/L. A cal utilizada foi uma cal viva em pó, dissolvida em água desionizada do tipo III e por cada litro de turfa adicionavam-se 300 mL de solução de cal. A turfa juntamente com a solução de cal foi bem revolvida até ficar homogeneizado. Os valores de pH foram lidos após estarem uma hora em agitação, realizando-se logo de seguida o enchimento dos vasos. Para cada um destes ensaios registaram-se diferentes valores de pH que se encontram resumidos na tabela 4.4.

**Tabela 4.4.** Quantidades de cal e respetivo valor de pH

Cal (g/L)	pH
0	3,35
5	4,25
7,5	5,44
10	5,90
15	7,84



#### 4.6.3. Análise Estatística dos Resultados

Em qualquer plano experimental uma das decisões críticas é a escolha do tamanho da amostra, isto é, determinar qual o número de réplicas a executar. Neste caso específico seria qual o número de vasos que se deveriam efetuar para cada grupo. Se for necessário detetar pequenos efeitos, são necessárias mais repetições do que se for necessário detetar grandes efeitos. Existem várias abordagens para determinar a dimensão da amostra e, na maioria dos casos, podem ser usadas em situações experimentais com os mais diversos graus de complexidade.

Visto que a avaliação da fitotoxicidade é realizada através de duas componentes distintas, que são a inibição de germinação do composto e a inibição de crescimento do composto, esta análise estatística vai ser também realizada através destas duas componentes em separado. Desta forma, a componente Inibição de germinação vai ser analisada através de um modelo logístico normal e a componente Inibição de crescimento vai ser analisada através de uma ANOVA hierárquica a dois fatores, com o auxílio do programa R (programa de análise estatística). De seguida são explicadas as metodologias aplicadas em cada um dos casos.

##### *Inibição de Germinação*

Segundo a metodologia sugerida por Agresti (2002), o modelo logístico normal é um recurso que permite estimar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento, face a um conjunto de variáveis explanatórias de natureza fixa e aleatória.

A probabilidade de inibição de germinação de cada planta no vaso  $i$  é dada por

$$m_i = \text{logit}(p_i) = m_{IG} + v_j,$$

admitindo que, para os  $J$  vasos,  $v_j \sim N(0, \sigma^2)$ .

Supondo que cada vaso tem  $N$  plantas,  $\hat{m}_i \sim N\left(m_i, \frac{1}{N^2 p_i(1-p_i)}\right)$ .

Visto que se procura um valor mínimo para  $J$ , suponhamos que

$$\hat{m}_j \sim N\left(m_j, \frac{1}{N^2 p_{\max}(1-p_{\max})}\right),$$

onde  $p_{\max}$  é a probabilidade máxima para a inibição de germinação.

Assim, um limite inferior aproximado para  $\hat{m}_i$  será

$$\hat{m}_j - z_\alpha \frac{1}{\sqrt{N^2 p_{\max}(1-p_{\max})}}$$

e para  $m_{IG}$  (média) será

$$L = m_{\max} - z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{1}{J} \left( \frac{1}{N^2 p_{\max}(1-p_{\max})} + \sigma^2 \right)},$$

com

$$m_{\max} = \text{logit}(p_{\max})$$

Seja  $\varepsilon$  a tolerância percentual permitida e  $1 - \beta$  a potência de teste pretendida.

Com  $p_{tol} = p_{max} - \varepsilon$  e  $m_{tol} = \text{logit}(p_{tol})$ ,

$$U = m_{tol} + z_{1-\beta} \sqrt{\frac{1}{J} \left( \frac{1}{N^2 p_{tol}(1-p_{tol})} + \sigma^2 \right)}.$$

Assim, para se testar  $H_0: p_{IG} \geq p_{max}$  com significância  $\alpha$  e com uma potência de teste  $1 - \beta$  (máximo possível) associada a uma tolerância percentual de  $\varepsilon$ , é necessário determinar um  $J$  mínimo tal que  $L > U$ . Considera-se como hipótese nula ser tóxico, e pretende-se detetar diferenças superiores a  $\varepsilon$ .

### ***Inibição de Crescimento***

Segundo a metodologia sugerida no Montgomery, (2012) quando existe alguma suspeita de que, para além do tratamento, existem outros fatores a influenciar os valores observados da variável estatística, entra-se no campo da ANOVA fatorial. Esta técnica permite-nos identificar eventuais diferenças entre os diversos grupos e devido não só a um único fator mas sim a múltiplos fatores. Desta forma, esta é a ferramenta que mais se adequa para a análise dos diversos planeamentos experimentais.

Para compreender as diversas hipóteses em confrontação num modelo ANOVA hierárquico com dois fatores, reproduz-se o modelo subjacente que pode ser descrito da seguinte forma:

$$y_{ijn} = \mu_{ij} + \tau_i + v_{j(i)} + \epsilon_{ijk},$$

Onde:

$y_{ijn}$  é a observação  $ijn$  da variável estatística em estudo, a partir da qual posteriormente se retiram amostras;

$\mu_{ij}$  é a média associada aos níveis  $i$  e  $j$  dos fatores 1 e 2, respetivamente;

$$\sum_{i=1}^I \tau_i = 0;$$

$v_{j(i)} \sim N(0, \sigma_v^2)$  é a variação aleatória associada a cada vaso;

$\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_\epsilon^2)$  é o erro estatístico da observação  $ijk$  proveniente da aleatoriedade das observações.

A equação anterior pode designar-se por um modelo estatístico, ou seja, é uma forma que permite explicar matematicamente a origem de uma realidade observada, os valores de  $y_{ijn}$ . Por norma,  $\mu_{ij}$  é decomposto da seguinte forma.

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij}$$

$\mu$  é uma média global de  $y_{ijn}$  (caso fosse no modelo ANOVA com um fator a média era descrita por  $\mu_i = \mu + \alpha_i$ );

$\alpha_i$  é a influência do nível  $i$  do fator 1;

$\beta_j$  é a influência do nível  $j$  do fator 2;

$\gamma_{ij}$  é a influência combinada dos níveis  $i$  e  $j$  dos fatores 1 e 2, respetivamente.

Este modelo, a ANOVA hierárquica com dois fatores tenta dar resposta a três testes de hipótese:

Teste ao fator 1: (não há influência do fator 1 vs. há influência do fator 1)

$$H_0: \forall_i \alpha_i = 0 \text{ vs. } H_1: \exists_i \alpha_i \neq 0$$

Teste ao fator 2: (não há influência do fator 2 vs. há influência do fator 2)

$$H_0: \forall_j \beta_j = 0 \text{ vs. } H_1: \exists_j \beta_j \neq 0$$

Teste à interação: (não há influência do fator 1 quando combinado com o fator 2, vs. há influência do fator 1 quando combinado com o fator 2)

$$H_0: \forall_{ij} \gamma_{ij} = 0 \text{ vs. } H_1: \exists_{ij} \gamma_{ij} \neq 0$$

O teste à interação serve para modelar situações em que os dois fatores, quando vistos de forma isolada não influenciam a variável de resposta, mas que, quando combinados, já influenciam.

Seja  $c_\alpha$  o percentil  $1 - \alpha$  da distribuição  $F_{(I-1, I(J-1))}$ .

Para uma tolerância mínima de  $\epsilon$ , a potência do teste  $1 - \beta$  é dada por

$$\beta = F_{(I-1, I(J-1), \delta)}(c_\alpha),$$

com

$$\delta = \frac{JN\epsilon^2}{2(N\sigma_v^2 + \sigma_\epsilon^2)}.$$

Há que determinar  $J$  mínimo tal que  $1 - \beta$  atinja o valor pretendido.

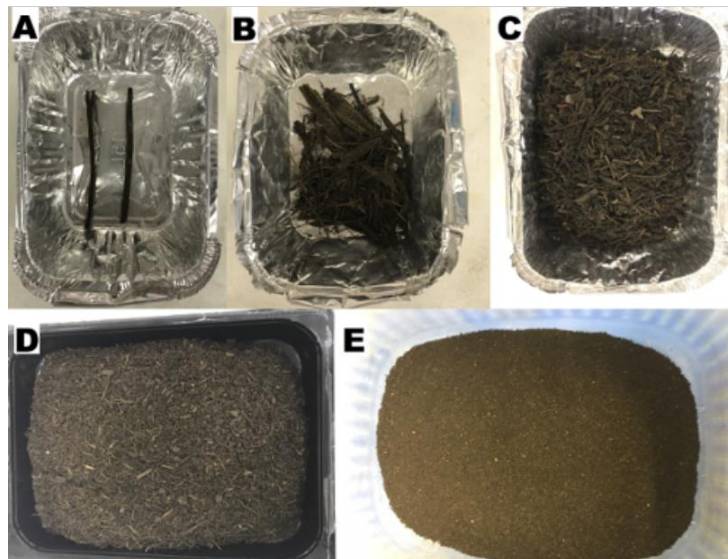
Considera-se como hipótese nula a média dos pesos em cada vaso ser sempre igual e quer-se detetar diferenças superiores a 50%.

Para a entrada dos dados, há que definir no programa R o modelo ANOVA a dois fatores. A formatação em *data.frame* é a mais simples (embora haja outras formas de entrar e tratar os dados). Os dados a usar deverão estar organizados em três colunas (número do vaso, peso de cada planta e ensaio). A primeira coluna relativa ao número do vaso pode-se considerar a observação, a segunda coluna onde se apresenta os diferentes pesos de cada planta pode-se considerar o nível do fator um e a última coluna relativa ao ensaio pode-se considerar o nível de fator dois. Desta forma, existem seis observações para cada combinação  $ij$  de fatores.

#### 4.7. Ensaio de Desintegração

Para avaliar a capacidade de desintegração dos materiais em estudo, nas condições de compostagem, e com base na norma ISO 20200 (2015) foram necessárias realizar algumas adaptações na preparação das amostras de PNC e de PNA. Estas duas amostras tiveram que se agrupar em pequenos blocos com um diâmetro de aproximadamente 25 mm e uma espessura de 5 mm, uma vez que esta amostra não permitia ser cortada tal como indica a norma. As restantes três amostras (FNT, FTSG e FTCG) são facilmente cortadas em quadrados de 25 x 25 mm tal como indica a norma.

O inóculo (CFL) foi crivado com crivos normalizados (AFNOR) de 25 mm, 12,5 mm, 6,3 mm e 2 mm para a análise granulométrica, como mostra a figura 4.13. Para realizar o teste de desintegração o inóculo foi crivado a 6,3 mm e utilizou-se apenas a fração inferior, ou seja, a que passa pelo crivo.



**Figura 4.12.** Análise granulométrica. A - fração superior a 25 mm; B - fração inferior a 25 mm; C - fração inferior a 12,5 mm; D - fração inferior a 6,3 mm; E - fração inferior a 2 mm (Boavida, 2018)

As amostras de material teste foram imersas em água destilada do tipo II por menos de 30 segundos e de seguida adicionou-se as 10 g em peso seco de material teste ao inóculo com 55% de humidade.

Prepararam-se dezoito reatores, três para cada material de teste e três brancos para servir de controlo. Os reatores apresentados na figura 4.14., são caixas de polipropileno com tampa e dois pequenos orifícios com um diâmetro de 5 mm, um em cada extremidade, para circulação de ar. Os reatores juntamente com as respetivas misturas são mantidos a uma temperatura de  $58 \pm 2$  °C em estufa (Memmert), durante 90 dias, tempo máximo de ensaio exigido pela norma.



**Figura 4.13.** Reatores de desintegração em estufa

A norma apresenta uma calendarização (Tabela 4.5.) para o modo operatório, que nos indica quando se deve revolver e qual a quantidade de água destilada a acrescentar, quando necessário.

**Tabela 4.5.** Calendarização do Ensaio (ISO 20200:2015)

<b>Tempo de Ensaio (dias)</b>	<b>Operação</b>
0	Registar o peso inicial de cada reator.
1,2,3,4,7,9,11,14	Pesar o reator e adicionar água para restaurar a massa inicial, se necessário. Revolver a massa em compostagem.
8,10,16,18,21,23,25,28	Pesar o reator e adicionar água para restaurar a massa inicial, se necessário. Não revolver a massa em compostagem.
30 e 45	Pesar o reator e adicionar água para restaurar 80% da massa inicial, se necessário. Revolver a massa em compostagem.
De 30 a 60 (2 vezes por semana)	Pesar o reator e adicionar água para restaurar 80% da massa inicial, se necessário. Não revolver a massa em compostagem.
A partir de 60 (2 vezes por semana)	Pesar o reator e adicionar água para restaurar 70% da massa inicial, se necessário. Não revolver a massa em compostagem.

No final do ensaio, os reatores são abertos e o conteúdo é seco a uma temperatura de  $\pm 58^{\circ}\text{C}$ , até se atingir um peso constante. De seguida, o conteúdo que se encontrava em cada reator foi individualmente crivado a 6,3 mm e posteriormente a 2 mm. Das frações acima de 2 mm foi

recuperado todo o material teste residual. O material recuperado foi lavado de uma forma muito cuidadosa, e seco até se atingir um peso constante que se registou para calcular o respetivo grau de desintegração. O material teste residual recuperado da fração superior a 2 mm foi considerado como material que não se desintegrou. A norma NP EN 13432, 2015 especifica que este material teste residual recuperado na fração superior a 2 mm, em peso seco, não deve ser superior a 10%.

#### 4.7.1. Método de cálculo do teste de desintegração

O grau de desintegração (D (%)) calcula-se através da diferença de peso do material teste no início do ensaio e do material residual recuperado das frações acima de 2 mm, tal como está representado na tabela 4.6.

**Tabela 4.6.** Cálculo do grau de desintegração

Grau de desintegração (D (%))	
$\frac{P_i - P_{f > 2mm}}{P_f} \times 100\%$	$P_i$ é o peso inicial do material teste, em peso seco; $P_{f > 2mm}$ é o peso do material teste recuperado das frações superiores a 2 mm, em peso seco.

#### 4.8. Tratamento de Resultados

O tratamento dos resultados realizou-se com base no cálculo do valor médio aritmético ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $s$ ) de cada parâmetro que se obteve por determinação laboratorial, através das equações que se seguem:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde,

$x_i$  são os valores experimentais obtidos na medição  $i$ ;

$n$  é o número de medidas  $x$  efetuadas.

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1. Caracterização Físico – Química dos Materiais de Estudo

Os três corretivos orgânicos e a turfa utilizados na presente dissertação são caracterizados através de parâmetros físico-químicos, para que se possam obter informações úteis na interpretação do comportamento dos mesmos.

Na tabela 5.1. estão apresentados os valores de humidade (%), pH, condutividade elétrica a 25°C (µS/cm), sólidos voláteis (%) e densidade (g/L) para cada uma das amostras estudadas.

**Tabela 5.1.** Caracterização Físico - Química

	Humidade (%)	pH	CE a 25 °C (µS/cm)	Sólidos Voláteis (%)	Densidade (g/L)
<b>CML</b>	34,63	8,87	5980,16	56,95	433,47
<b>CMA</b>	22,60	7,62	3839,85	46,17	407,79
<b>CFL</b>	47,30	8,45	3739,71	68,11	250,22
<b>Turfa</b>	52,85	3,46	98,98	97,52	175,30

No que diz respeito à percentagem de humidade, e como seria de esperar, a turfa e o CFL apresentam valores superiores, sendo o maior deles registado para a turfa. Os compostos maturados (CML e CMA) apresentam valores mais baixos de percentagem de humidade, sendo o mais reduzido o registado para o CMA.

Relativamente aos valores de pH, os três compostos apresentam valores semelhantes. A turfa apresenta o valor mais reduzido, necessitando assim de ser corrigida com cal até atingir um valor dentro do intervalo referido pela norma (5,5 – 6,5). Os valores mais elevados de pH correspondem ao CML e ao CFL, sendo estes os dois compostos provenientes da Lipor.

No que diz respeito à CE a 25 °C, pode afirmar-se que apresenta uma grande variação entre as diferentes amostras em estudo, registando a turfa um valor com ordem de grandeza inferior. Sendo que a turfa apresenta o valor mais baixo de todos e o valor mais elevado foi registado pelo CML.

Também para a percentagem de sólidos voláteis, o valor mais elevado foi registados na turfa (cerca de 98%) e o mais reduzido registado no CMA (cerca de 46%).

Relativamente à densidade pode afirmar-se que esta é muito semelhante entre compostos maturados (CML e CMA), sendo os que apresentam os valores mais elevados, surgindo de seguida o CFL. Por fim, com o valor mais reduzido surge a turfa.

A tabela 5.2. mostra-nos as diferentes granulometrias das amostras em estudo. Pode afirmar-se que existe alguma semelhança entre o CML e o CMA. Relativamente ao CFL, e como era de esperar, apresenta uma elevada quantidade logo na primeira fração ( > 25 mm ) contrariamente às outras amostras, sendo que nas restantes frações se encontra distribuído de uma forma equilibrada pelas diferentes frações.

**Tabela 5.2.** Granulometria (%)

	<b>CML</b>	<b>CMA</b>	<b>CFL</b>	<b>Turfa</b>
<b>&gt;25mm</b>	0,00	0,01	8,42	0,57
<b>[25 &gt;12,5 mm ]</b>	0,45	0,50	22,80	34,01
<b>[12,5 &gt; 6,3mm]</b>	4,39	1,96	21,72	39,33
<b>[6,3&gt; 2mm]</b>	27,33	9,29	28,57	17,66
<b>&lt;2mm</b>	67,83	88,24	18,49	8,43

A tabela 5.3. apresenta todos os valores relativos à análise elementar e ainda a razão C/N. Como se pode ver nenhuma das amostras apresenta na sua composição o elemento químico enxofre. Sendo que o carbono é o elemento químico que aparece em maiores quantidades em todas as amostras, seguindo-se o hidrogénio e por fim o azoto. No que diz respeito à Razão C/N foram registados valores muito próximos para os compostos maturados (cerca de 10), e também os mais baixos de entre as amostras em estudo. O valor mais elevado foi registado na turfa (acima de 30). O CFL registou valores intermédios entre aqueles dois grupos, referidos anteriormente, mas mais próximo do valor registado nos compostos maturados.

**Tabela 5.3.** Análise Elementar (%)

	<b>Carbono (% C)</b>	<b>Azoto (% N)</b>	<b>Hidrogénio (% H)</b>	<b>Enxofre (% S)</b>	<b>Razão C/N</b>
<b>CML</b>	33,24 (± 1,59)	3,18 (± 0,14)	3,36 (± 0,22)	Nd	10,47
<b>CMA</b>	25,78 (± 2,54)	2,50 (± 0,19)	2,54 (± 0,28)	Nd	10,31
<b>CFL</b>	37,09 (± 1,87)	2,48 (± 0,10)	4,33 (± 0,24)	Nd	14,96
<b>Turfa</b>	48,76 (± 1,10)	1,22 (± 0,04)	5,88 (± 0,46)	Nd	39,97

A tabela 5.4. apresenta os valores dos metais pesados e dos macronutrientes determinados. O limite de deteção (LD) do Cu, no método utilizado – ICP - AES (Espectrometria de Emissão Atómica por Plasma Acoplado Indutivamente) é de 2 µg/L, portanto pode afirmar-se que este metal apresenta um valor inferior ao LD no caso da turfa. Ao comparar os valores de metais pesados das amostras com os limites estipulados pelo Decreto-lei nº 103/2015, pode concluir-se que o CML apresenta uma **classe II A**, apenas devido ao valor do cádmio, caso este fosse inferior a 0,7 mg/kg ps este composto seria de classe I visto que todos os outros metais cumprem os limites estipulados para um composto de classe I. Relativamente ao CMA, pode afirmar-se que é um



composto de **classe III**, também devido ao valor do cádmio, no entanto ao comparar com o CML existem outros metais que apresentam valores bastante mais elevados, nomeadamente o Cu e o Zn, impedindo este de ser classificado em classe I. O CFL apresenta **classe II A** também devido ao seu elevado valor de cádmio, sendo que todos os outros metais permitiam que este fosse classificado de classe I.

Assim pode concluir-se que nenhum dos compostos em estudo pode ser utilizado na agricultura, de acordo com o estipulado na legislação em vigor, devido aos seus elevados níveis do elemento químico cádmio. O maior valor registado corresponde à amostra CMA. A legislação consultada não se aplica às turfas, mas os valores registados nestas amostras, relativamente ao elemento químico cádmio, foram bastante inferiores aos registados para os compostos, quer para os maturados quer para o fresco.

**Tabela 5.4.** Metais Pesados (mg/kg ps) e Macronutrientes (% ps)

	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>% K<sub>2</sub>O ps</b>	<b>% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ps</b>
<b>CML</b>	2,18	65,85	43,01	29,71	57,60	141,21	2,1	1,51
<b>CMA</b>	4,43	45,01	221,09	35,34	94,38	458,47	1,37	2,43
<b>CFL</b>	1,63	54,89	28,40	23,80	15,82	88,42	1,56	1,24
<b>Turfa</b>	0,28	2,28	< LD <sup>1</sup>	2,12	9,23	16,80	0,03	0.07

## 5.2. Caracterização dos Materiais teste usados no Ensaio de Desintegração

Os valores apresentados na tabela 5.5. e na tabela 5.6. têm como fonte Boavida (2018). Como se pode verificar todas as amostras utilizadas neste ensaio apresentam uma elevada percentagem de sólidos voláteis. Relativamente aos valores de pH, pode-se dizer que o PNA é aquele que apresenta o valor mais reduzido e que o PNC é o que apresenta o valor mais elevado. Os três feltros (FNT, FTSG e FTSG) apresentam valores de pH mais semelhantes entre si. No que diz respeito aos valores obtidos para a CE, verifica-se que o PNA se destaca com um valor bastante mais elevado comparativamente com as restantes amostras.

**Tabela 5.5.** Caracterização Físico - Química

<b>Amostras</b>	<b>SV (% ps)</b>	<b>pH</b>	<b>CE a 25 °C (μS/cm)</b>
<b>PNC</b>	98,1	5,4 (± 0,02)	493
<b>PNA</b>	98,6	2,8 (± 0,02)	1458
<b>FNT</b>	99,8	3,0 (± 0,02)	454
<b>FTSG</b>	99,7	3,2 (± 0,01)	316
<b>FTCG</b>	99,4	3,4 (± 0,06)	296

<sup>1</sup> LD = 2 μg/L

A tabela 5.6. apresenta os valores obtidos através da análise elementar, para os elementos químicos Carbono, Azoto, Hidrogénio e Enxofre. Verifica-se que o Carbono é o que apresenta uma percentagem mais elevada em todas as amostras, seguindo-se o Azoto, posteriormente o Hidrogénio e para finalizar surge o Enxofre com quantidades muito inferiores, não se verificando a sua presença no caso específico do PNC. Importa ainda salientar que as composições das amostras em estudo, relativamente aos elementos químicos em análise, apresentam valores bastante próximos, sendo constante (3) o valor da Razão C/N para todas as amostras.

**Tabela 5.6.** Análise Elementar

<b>Amostras</b>	<b>Carbono (% C)</b>	<b>Azoto (% N)</b>	<b>Hidrogénio (% H)</b>	<b>Enxofre (% S)</b>	<b>Razão C/N</b>
<b>PNC</b>	46,6 (± 0,19)	14,70 (± 0,20)	6,40 (± 0,17)	nd	3
<b>PNA</b>	45,0 (± 0,65)	15,00 (± 0,20)	6,20 (± 0,10)	4,60 (± 0,15)	3
<b>FNT</b>	48,1 (± 0,15)	15,70 (± 0,05)	6,60 (± 0,05)	3,40 (± 0,05)	3
<b>FTSG</b>	44,2 (± 0,57)	13,70 (± 0,24)	6,20 (± 0,07)	4,90 (± 0,18)	3
<b>FTCG</b>	45,2 (± 0,11)	13,60 (± 0,07)	6,20 (± 0,11)	5,10 (± 0,26)	3

### 5.3. Teste de Auto – Aquecimento

A temperatura máxima atingida no vaso do CMA foi de 25 °C, no vaso do CML foi de 28 °C e no vaso do CFL foi de 28,5 °C. De acordo com o Decreto-Lei nº 103/2015 os três compostos pode ser classificados de maturados. Esta legislação classifica de maturados compostos cujas temperaturas registadas não ultrapassam os 40 °C; semimaturados quando se registam temperaturas entre os 40 e os 50 °C; e de frescos quando as temperaturas registadas atingem valores superiores a 50 °C.

Importa salientar que o teste de auto – aquecimento não foi realizado no momento da receção das amostras, por impossibilidade logística laboratorial. No caso específico do CFL, este facto pode de alguma forma justificar o reduzido valor de temperatura registado. É de prever que se o teste tivesse sido realizado logo após a receção da amostra o resultado obtido teria sido diferente, uma vez que esta amostra apresentava uma elevada atividade.

#### 5.4. Ensaio de Fitotoxicidade

O ensaio de fitotoxicidade ocorreu com base na norma EN 16086-1, 2011 e permitiu realizar o teste de germinação assim como o de crescimento. Este foi realizado com três compostos distintos (CML, CMA e CFL) e teve como objetivo verificar se os mesmos causam efeitos fitotóxicos em espécies vegetais sensíveis. A figura 5.1. ilustra as diferentes fases de desenvolvimento da planta utilizada (couve chinesa), ao longo do tempo de ensaio.



**Figura 5.1.** Diferentes Fases de Desenvolvimento das Couves Chinesas

##### ***Grau de Germinação***

A figura 5.2. ilustra o grau de germinação das sementes na caixa de Petri. Verificou-se que cumpriu o requisito referido na norma EN16086-1, superior a 95%, tendo-se registado uma germinação a 100% das sementes utilizadas.



**Figura 5.2.** Germinação das sementes

##### **5.4.1. Determinação de efeitos negativos dos compostos testados**

Com base nas equações apresentadas na tabela 4.3 do subcapítulo 4.6.1., determinaram-se os resultados deste teste. A tabela 5.7. apresenta os resultados para a taxa de germinação média por substrato (TGm (%)), o coeficiente de variância da taxa de germinação (CVG (%)), o peso fresco médio das plantas por substrato (PFm (g)) e o coeficiente de variância do peso fresco das plantas (CVPF (%)). É através da análise destes resultados que se avalia a fitotoxicidade dos compostos em estudo.

Para visualizar com maior detalhe os resultados individuais de cada um dos vasos em cada ensaio realizado podem ser consultados os anexos apresentados no final desta dissertação. Nestes pode observar-se o número de plantas ou sementes germinadas no quinto dia e no fim do ensaio, a taxa de germinação (TGi (%)), o peso total das plantas germinadas (g), o peso médio das plantas germinadas (PFi (g)) e ainda o quadrado da diferença entre a taxa de germinação do vaso i (TGi) e a taxa de germinação média (TGM) e o quadrado da diferença entre o peso fresco das plantas no vaso i no final do ensaio (PFi) e o peso fresco médio das plantas (PFM).

**Tabela 5.7.** Resultados do Ensaio de Fitotoxicidade

	Germinação		Crescimento	
	TGm (%)	CVG (%)	PFm (g)	CVPF (%)
<b>Turfa</b>	93,00	6,71	1,21	13,35
<b>CML (50:50)</b>	46,17	45,92	0,99	38,60
<b>CMA (50:50)</b>	82,50	17,12	0,90	15,69
<b>CFL (50:50)</b>	86,17	11,77	0,84	14,21
<b>CML (25:75)</b>	92,83	6,74	1,14	17,10
<b>CMA (25:75)</b>	94,67	4,59	0,86	21,51
<b>CFL (25:75)</b>	93,67	6,57	0,75	16,22

Pela análise da tabela 5.7. pode verificar-se, no que diz respeito à germinação, que o CML (50:50) foi o composto que registou uma menor taxa de germinação média, isto ocorre devido ao seu elevado valor de CE. Foi também este composto que obteve um maior coeficiente de variância da taxa de germinação. Todos os outros ensaios registaram percentagens de TGm superiores, na ordem dos 80% para os ensaios de proporção 50:50 e na ordem dos 90% para os ensaios de proporção 25:75. No que diz respeito à percentagem de CVG, esta apresenta valores próximos para as amostras de proporção 25:75 e da mesma ordem de grandeza do valor registado para a Turfa. Os ensaios para as proporções 50:50 dos compostos CMA e CFL apresentam percentagens de CVG superiores aos registados nos ensaios de proporções 25:75, mas bastante inferiores ao ensaio realizado com a amostra CML (50:50).

Relativamente ao crescimento, e tal como era de esperar, foi na Turfa onde ocorreu um maior peso fresco médio das plantas, e o menor coeficiente de variância do peso fresco das plantas. Importa salientar que ao contrário do que se registou para a germinação, nos ensaios de crescimento, a amostra de CML (50:50) foi a que registou o segundo valor mais elevado para o PFm e o mais elevado para a percentagem CVPF de entre todas as amostras analisadas. Poderá então afirmar-se que apesar da germinação ter registado valores mais baixos que as restantes amostras nos ensaios de crescimento os valores superam a maioria dos restantes resultados. Pode ainda observar-se que o valor mais elevado de PFm registou-se para o CML (25:75), podendo assim concluir-se que este composto foi o que obteve maiores valores de crescimento comparativamente com o CMA e o CFL.

Os resultados correspondentes às inibições avaliadas constam na tabela 5.8., sendo que a primeira coluna apresenta a inibição de germinação do composto (IGe (%)) e a segunda coluna a inibição de crescimento do composto (ICr (%)).

Tal como é referido no capítulo 4, adaptaram-se os critérios de avaliação usados para os testes de germinação e crescimento com sementes de agrião (*Lepidium sativum*) e de rabanete (*Raphanus sativus*) do método proposto por CCME (1996). Para se interpretar valores de inibição de germinação do composto e valores de inibição de crescimento do composto, considera-se que os resultados dos compostos testados que excedem os valores de 10% para o InG e 50% para o InC traduzem efeitos negativos significativos no crescimento das plantas.

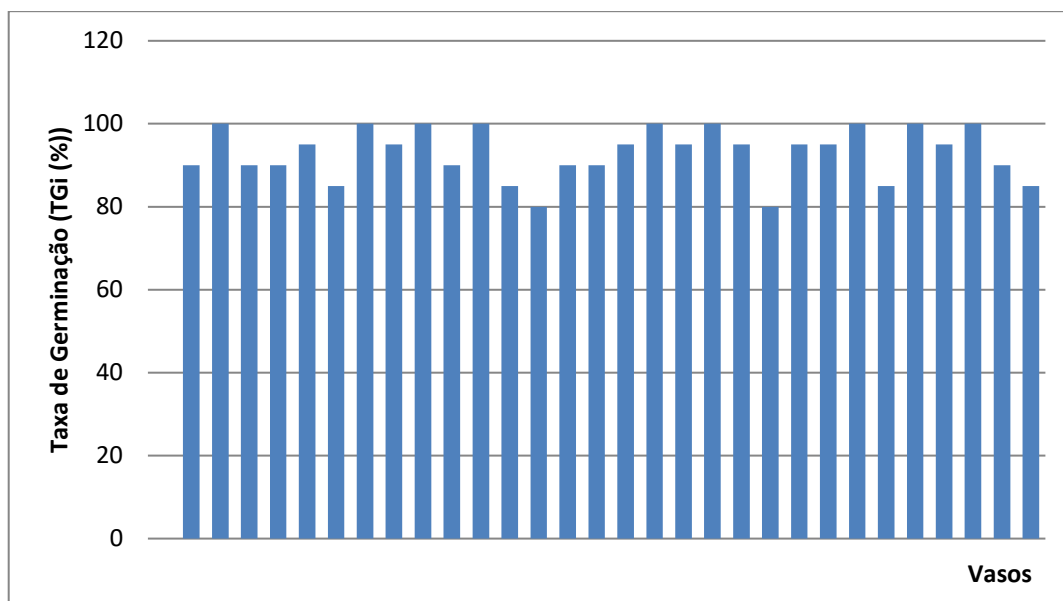
No que diz respeito à inibição de germinação obtiveram-se valores muito semelhantes nos três compostos na proporção (25:75). Considerando que o composto é fitotóxico se o índice de inibição de germinação for superior a 10%, pode afirmar-se que o CML é o composto mais fitotóxico uma vez que é o que apresenta o valor mais elevado, o que está em concordância com os resultados registados na tabela anterior (Tabela 5.7.), relativamente à percentagem de TGm para esta amostra – CML (50:50). O CMA (50:50) também se encontra ligeiramente acima do valor estipulado, sendo o CFL (50:50) o único que regista um valor abaixo do estipulado, para além dos já referidos ensaios na proporção (25:75).

Relativamente ao índice de inibição de crescimento, este tem que registar valores superiores a 50% para o composto ser considerado fitotóxico. Desta forma nenhum dos compostos analisados neste estudo se classifica de fitotóxico uma vez que nenhum ultrapassa o valor de referência.

**Tabela 5.8.** Resultados de Inibição de Germinação e Crescimento

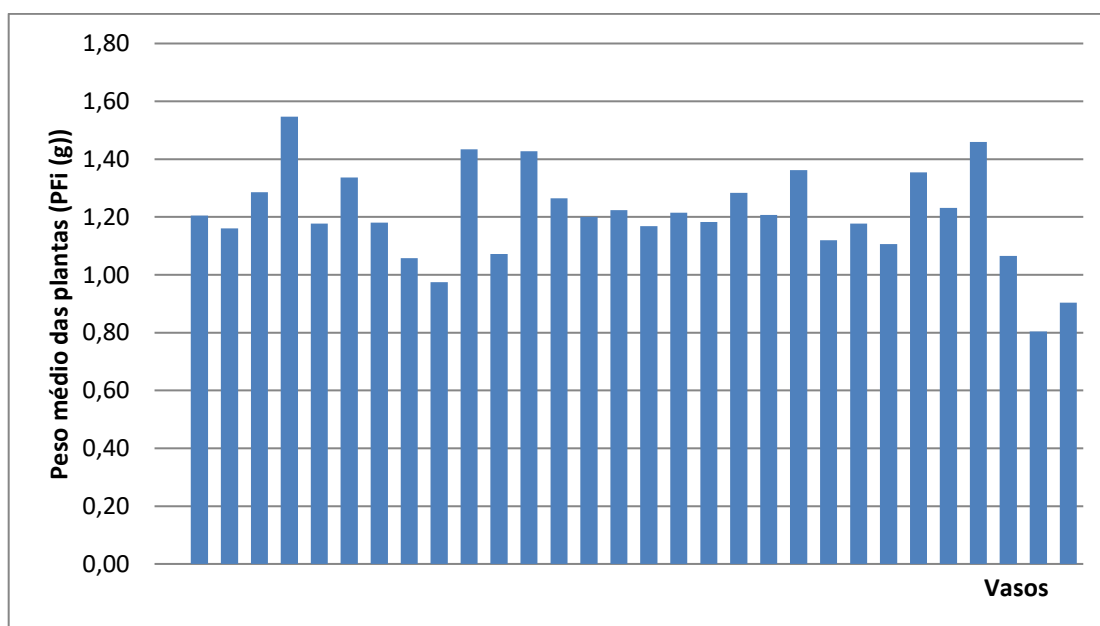
	<b>IGe (%)</b>	<b>ICr (%)</b>
<b>Turfa</b>	-	-
<b>CML (50:50)</b>	50,36	18,19
<b>CMA (50:50)</b>	11,29	24,99
<b>CFL (50:50)</b>	7,35	30,42
<b>CML (25:75)</b>	0,18	5,83
<b>CMA (25:75)</b>	-1,79	28,73
<b>CFL (25:75)</b>	-0,72	37,99

A figura 5.3. mostra a taxa de germinação por vaso no ensaio da turfa. Como se pode ver, não ocorreram taxas de germinação inferiores a 80%, tendo sido registado o valor de 100% em nove vasos.



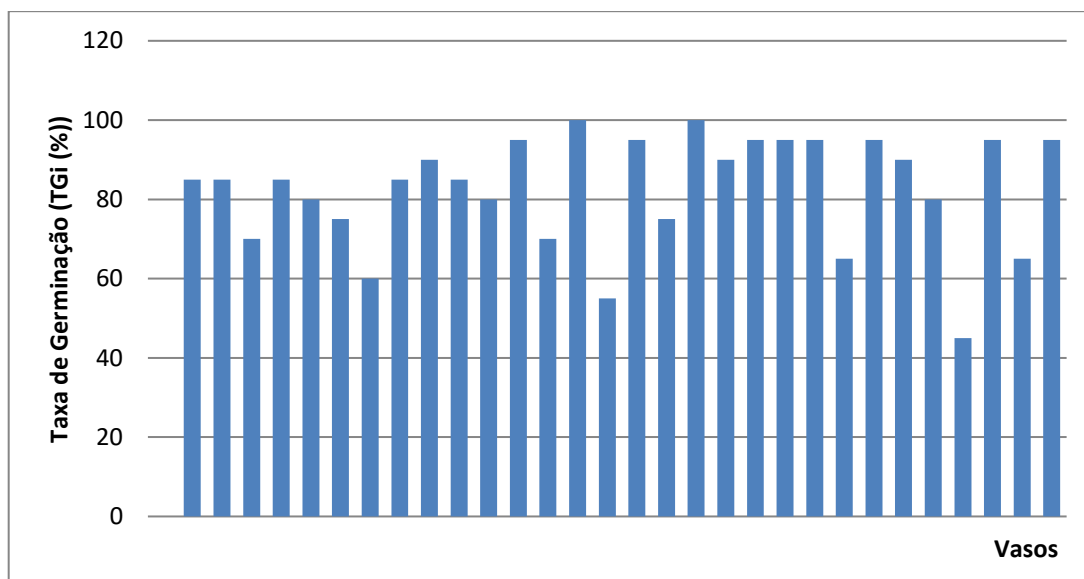
**Figura 5.3.** Taxa de Germinação na Turfa

Na figura 5.4. é possível observar o peso médio das plantas no ensaio da turfa. Como se pode ver não se verificaram vasos com um peso médio inferior a 0,8 g, registando-se quatro vasos em que o valor do peso médio ultrapassou 1,4 g.



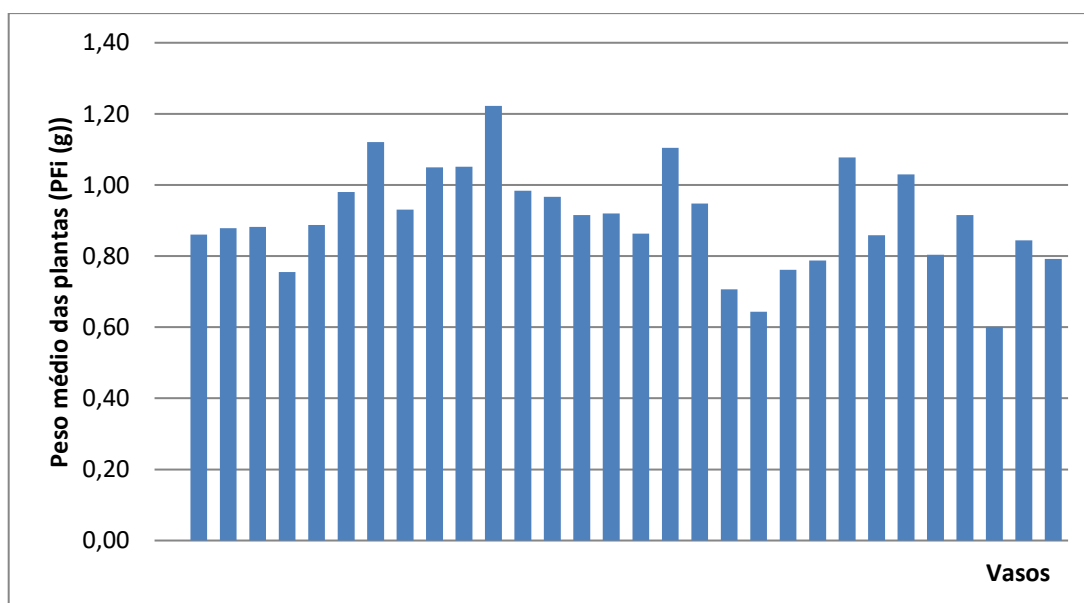
**Figura 5.4.** Peso médio das plantas na Turfa

Na figura 5.5. é visível a variação da taxa de germinação por vaso do ensaio com CMA na proporção (50:50). Registaram-se dois vasos com taxas de germinação de 100% e o vaso que apresenta o valor mais baixo foi de 45 %.



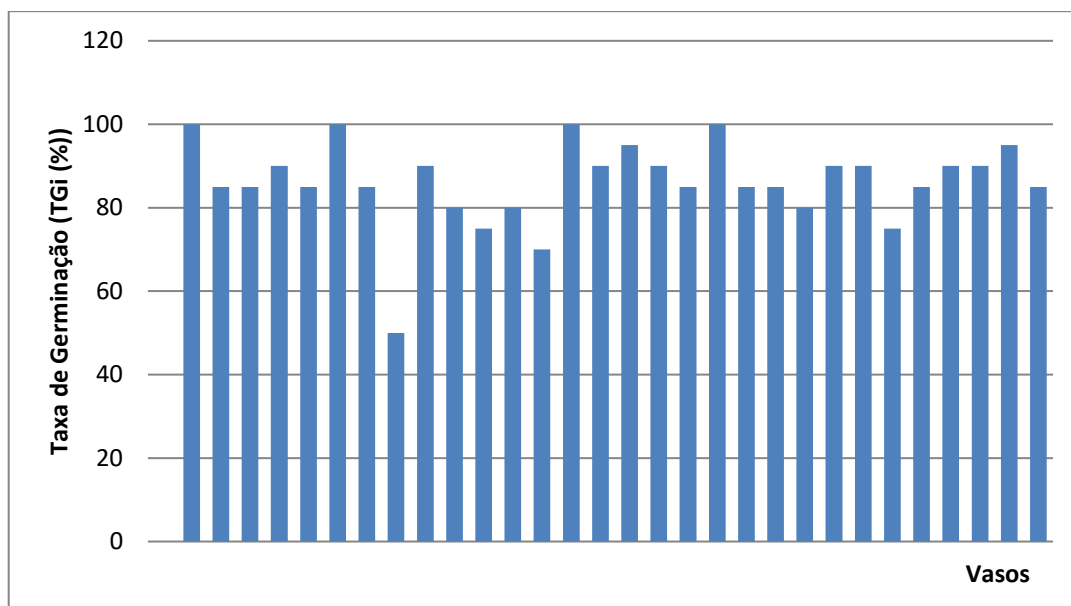
**Figura 5.5.** Taxa de Germinação no CMA (50:50)

A figura 5.6. mostra o peso médio das plantas no ensaio com CMA na proporção (50:50). É visível apenas um vaso com um peso médio de 0,6 g, sendo todos os outros pesos superiores. O vaso que atingiu o peso médio mais elevado registou um valor ligeiramente acima de 1,2 g.



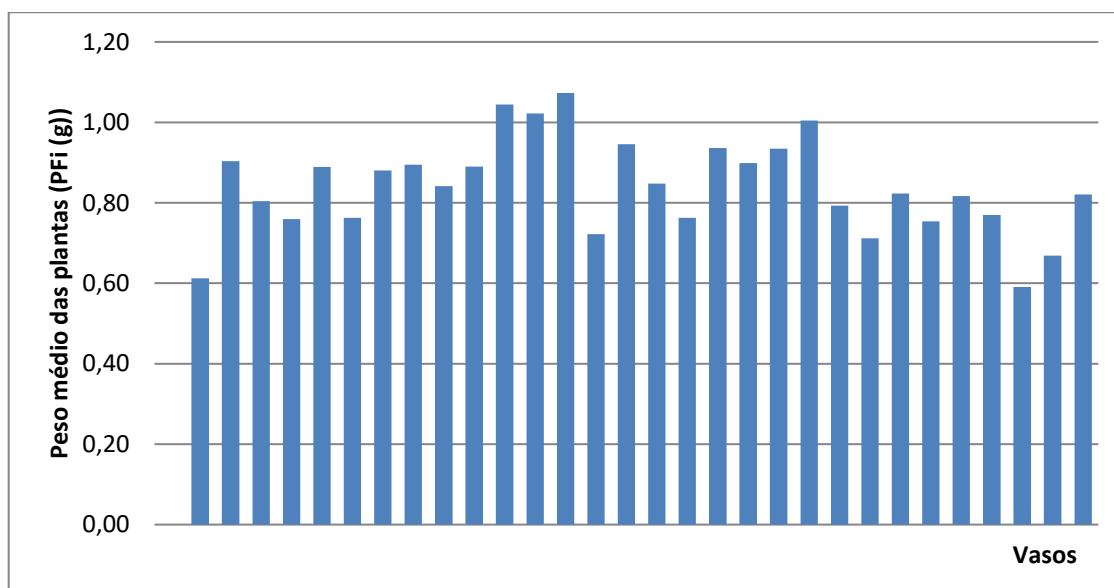
**Figura 5.6.** Peso médio das plantas no CMA (50:50)

A figura 5.7. mostra a taxa de germinação em cada um dos vasos do CFL, na proporção (50:50). Como se pode ver, quatro dos trinta vasos conseguiram atingir uma taxa de germinação de 100%. Apenas um dos vasos só conseguiu atingir 50%, tendo os restantes ultrapassado os 70%.



**Figura 5.7.** Taxa de germinação no CFL (50:50)

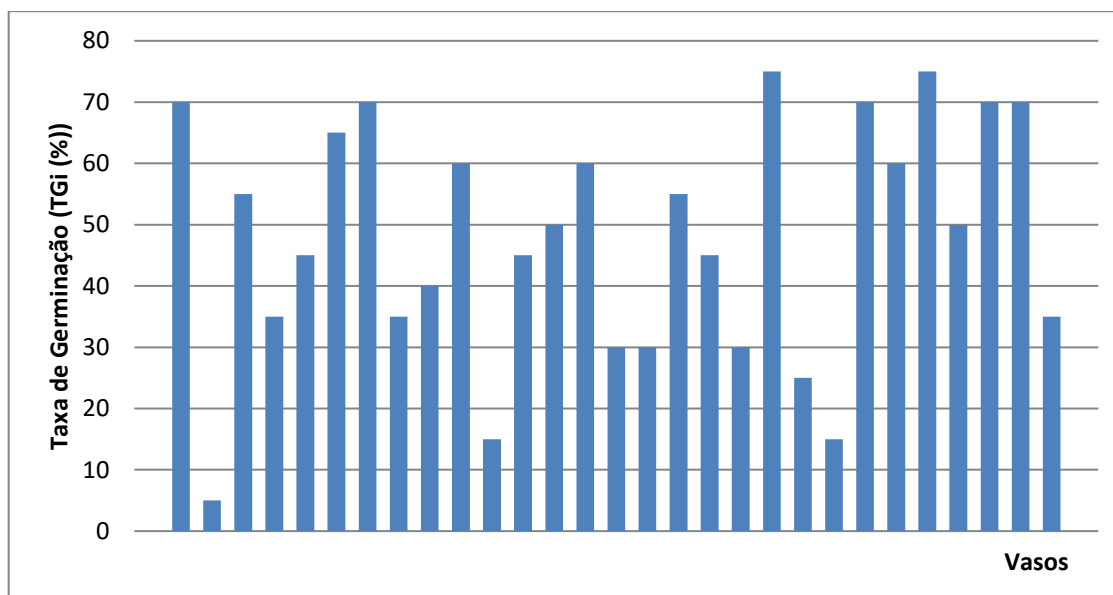
No que diz respeito ao peso médio das plantas no CFL na proporção (50:50), figura 5.8. pode afirmar-se que este varia entre cerca de 0,6 g e 1,1 g. Apenas um dos vasos registou um peso médio inferior a 0,6 g e três vasos ultrapassaram o peso de 1,0 g.



**Figura 5.8.** Peso médio das plantas no CFL (50:50)

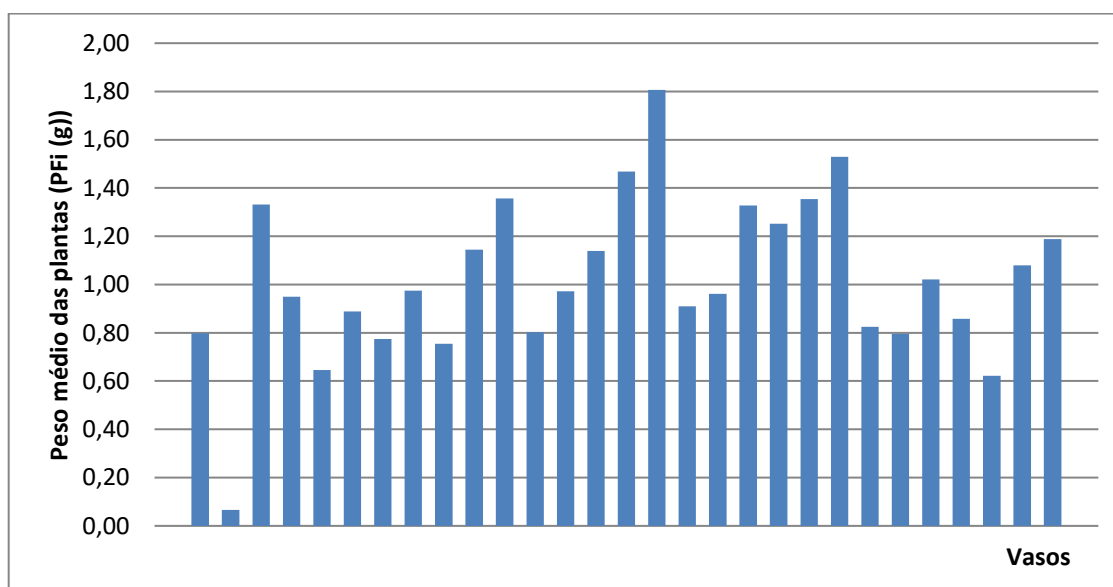


A taxa de germinação no CML (50:50) apresenta uma elevada variação, representada na figura 5.9. O valor mais baixo registado foi de 5% em apenas um vaso e o valor mais elevado foi de 75% em dois vasos.



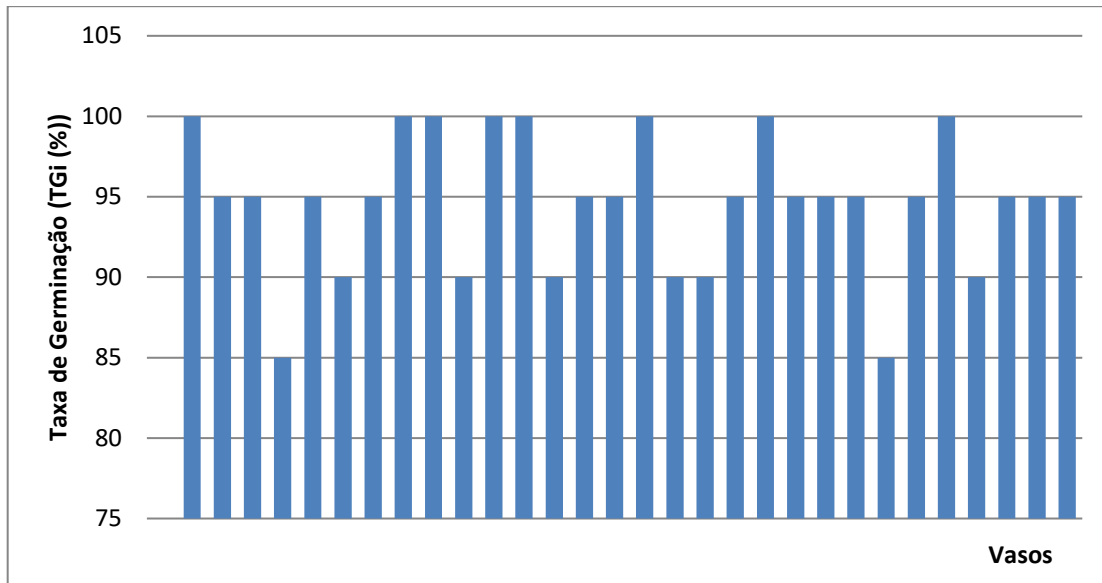
**Figura 5.9.** Taxa de Germinação CML (50:50)

O peso médio das plantas no CML (50:50) encontra-se representado na figura 5.10. Como pode ser observado, existe um vaso com um peso médio muito próximo de 0 g e apenas dois vasos conseguiram ultrapassar o peso médio de 1,5 g.



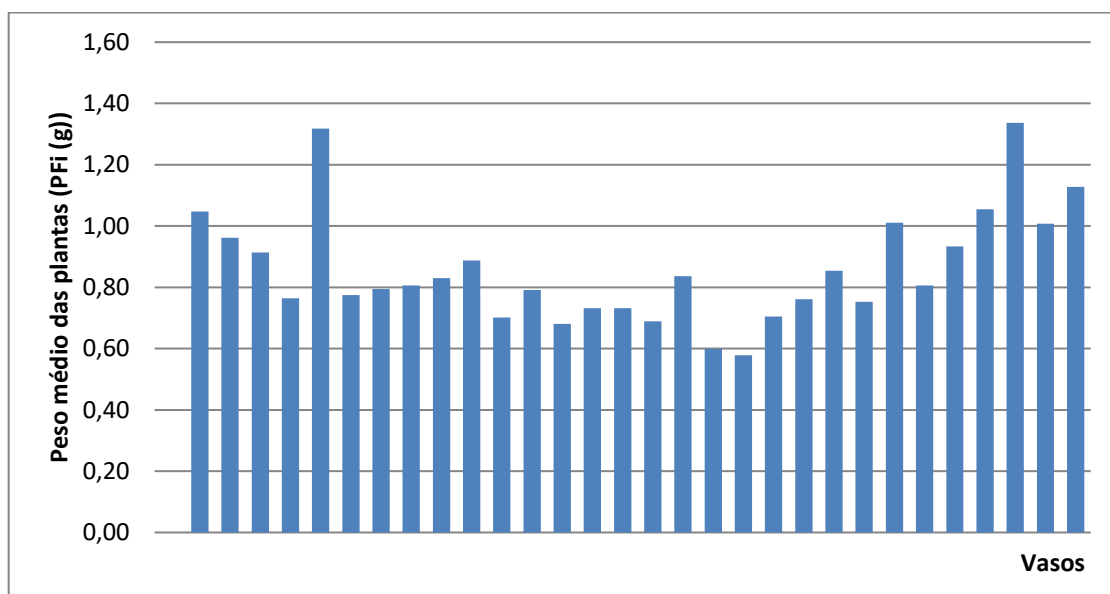
**Figura 5.10.** Peso médio das plantas no CML (50:50)

A taxa de germinação no CMA (25:75) encontra-se representada na figura 5.11. As taxas de germinação mais baixas são de 85 % e apenas acontecem em dois vasos. Oito vasos conseguiram atingir uma taxa de germinação de 100 %.



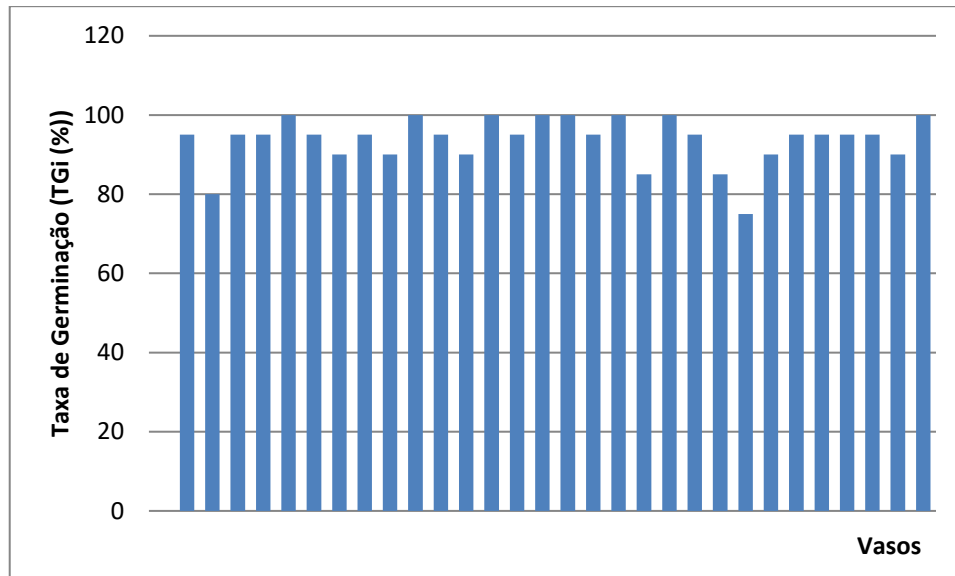
**Figura 5.11.** Taxa de Germinação CMA (25:75)

Na figura 5.12. podemos visualizar o peso médio das plantas no CMA na proporção (25:75). Apenas dois vasos conseguiram ultrapassar o peso médio superior a 1,2 g e somente um vaso não atingiu as 0,6 g, tendo os restantes vasos um peso entre os valores anteriormente referidos.



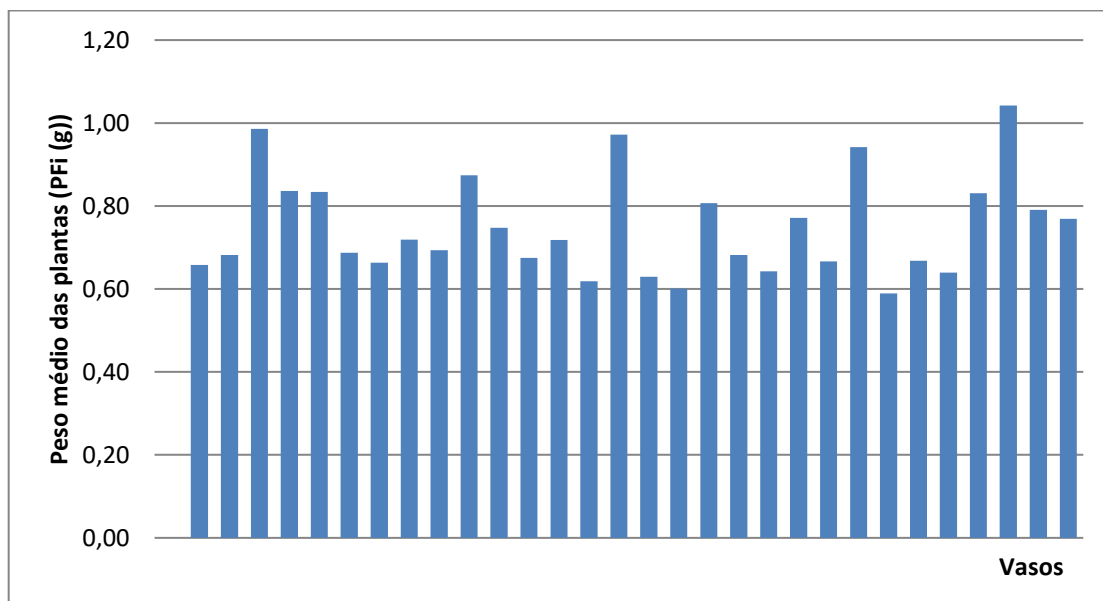
**Figura 5.12.** Peso médio das Plantas no CMA (25:75)

A figura 5.13. apresenta a taxa de germinação no CFL na proporção (25:75). Neste ensaio, a taxa de germinação variou entre os 75% e os 100%. Apenas um dos vasos registou uma taxa de germinação de 75% e oito vasos conseguiram atingir o valor de 100%.



**Figura 5.13.** Taxa de Germinação no CFL (25:75)

No que diz respeito ao peso médio das plantas no CFL na proporção (25:75) e segundo a figura 5.14. apenas um vaso registou um valor acima de 1,0 g e também somente um outro vaso registou um valor abaixo das 0,6 g. Os restantes vasos registaram valores que variaram dentro intervalo anteriormente referido.



**Figura 5.14.** Peso médio das Plantas no CFL (25:75)

A taxa de germinação do CML na proporção (25:75), tal como se pode ver na figura 5.15. variou entre os 80% e os 100%. Dois vasos registaram uma taxa de germinação de 80 % e oito vasos uma taxa de germinação igual a 100%.

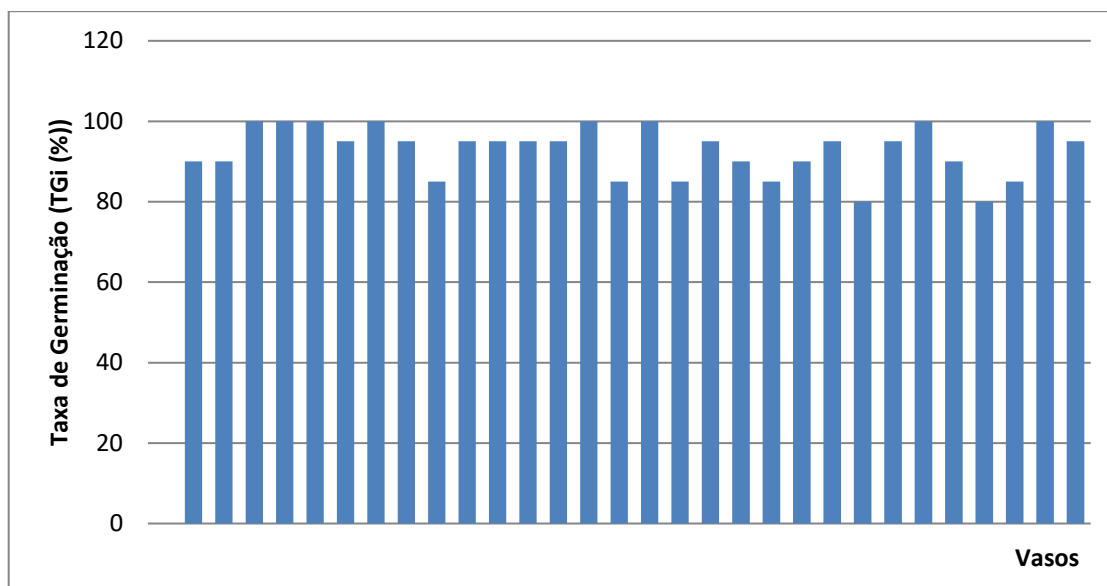


Figura 5.15. Taxa de Germinação CML (25/75)

O peso médio das plantas no CML na proporção (25:75) está representado na figura 5.16. e varia entre cerca de 0,8 g e 1,6 g. Dois vasos registaram próximos de 0,8 g e um vaso registou um valor próximo de 1,6 g. Os restantes vasos registaram valores intermédios.

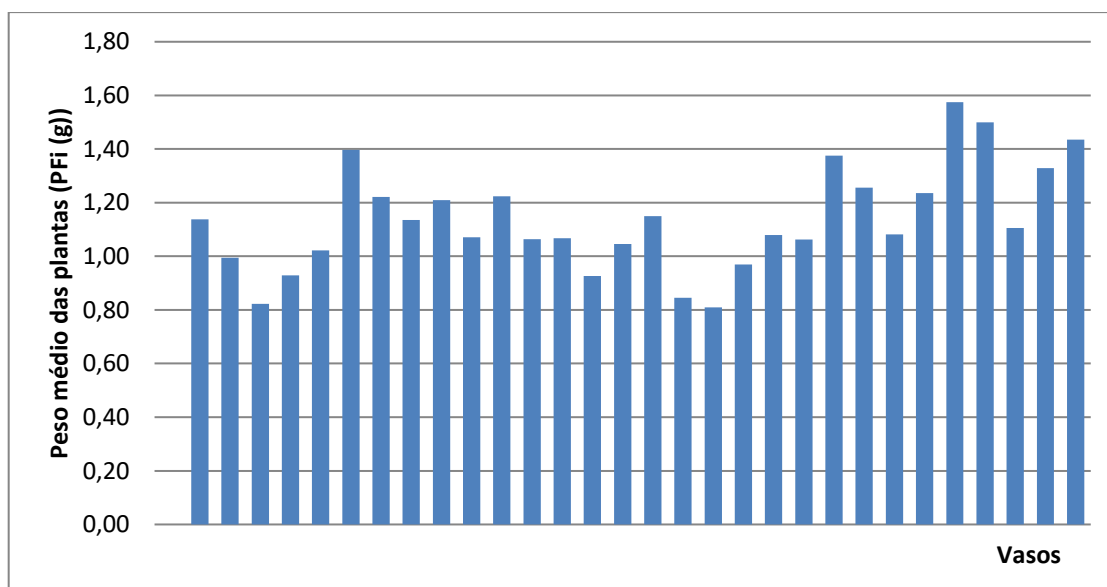


Figura 5.16. Peso médio das Plantas CML (25:75)

#### 5.4.2. Determinação do pH ideal para a Turfa

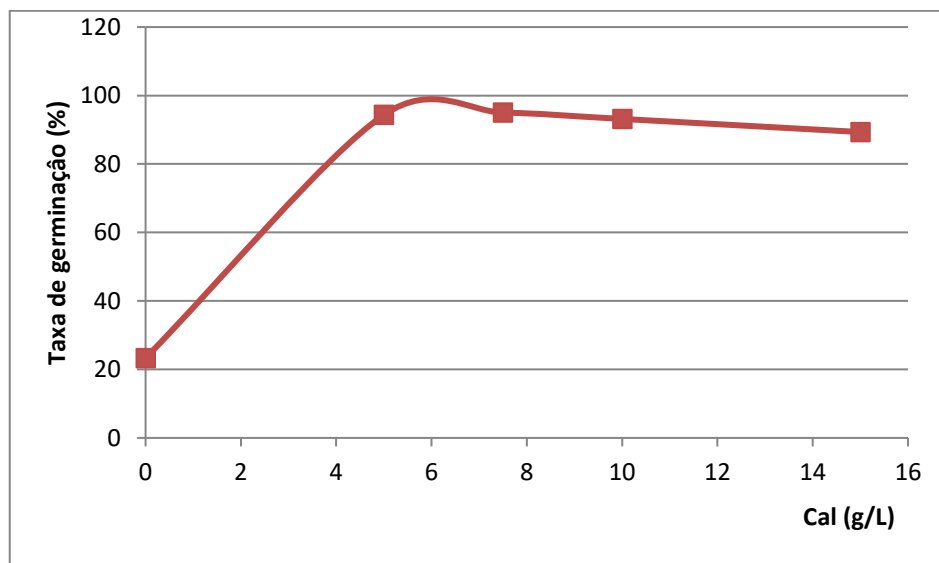
A tabela 5.9. apresenta os diferentes valores de pH atingidos com as diferentes quantidades de cal que se adicionou à turfa e os respetivos valores de taxa de germinação registados ao 5º dia. Apenas a adição de 10 g/L de cal permitiu que o valor do pH se situasse dentro do intervalo referido na norma EN 16086-1:2011 (entre 5,50 e 6,50). Como pode ser observado, todos os outros valores estão fora desse intervalo, mas esse facto não impediu que a taxa de germinação fosse elevada. As taxas de germinação atingidas com os valores de pH 4,25 e 5,44 foram mais elevadas que a taxa de germinação que se atingiu com o valor de pH 5,90 (dentro do intervalo estabelecido pela norma).

De acordo com estes resultados, é possível afirmar que a maior taxa de germinação (%) se obtém para valores de pH fora do estabelecido na norma (caso do pH = 5,44).

**Tabela 5.9.** Taxa de germinação para diferentes valores de pH

Cal (g/L)	pH	Taxa de Germinação (%)
0	3,35	23,33
5	4,25	94,33
7,5	5,44	95,00
10	5,90	93,17
15	7,84	89,33

A figura 5.17 retrata a evolução da taxa de germinação (%) para as diferentes quantidades de cal adicionadas. Tal como se pode verificar o valor de taxa de germinação mais baixo foi quando não se adicionou qualquer quantidade de cal. Verificou-se, logo de seguida, um aumento na taxa de germinação quando se adicionou a cal. Pode-se ainda verificar que os valores mais elevados de taxa de germinação foram atingidos no intervalo de adição de cal entre 5 a 10 g.



**Figura 5.17.** Taxa de germinação *versus* Quantidade de Cal

### 5.4.3. Análise Estatística dos Resultados

Tal como é referido no subcapítulo 4.6.3, a avaliação da fitotoxicidade é realizada através de duas componentes distintas e desta forma, a análise estatística dos resultados experimentais também se divide em dois fatores, Inibição de germinação e Inibição de crescimento.

#### ***Inibição de Germinação***

Ao aplicar a metodologia sugerida pelo modelo logístico normal, e considerando que todos os valores apresentados na tabela 5.10. não variam, chegou-se à situação apresentada na tabela 5.11. Dependendo do valor de  $1 - \beta$  que se considerar, assim iremos obter um número de vasos ideal diferente, o mesmo acontece para o valor de  $\varepsilon$  (tolerância percentual), que é utilizado para o cálculo de  $p_{tol}$ .

**Tabela 5.10.** Valores fixos

$p_{max}$	0,163
$m_{max}$	-1,6360739
<b>N</b>	20
$\sigma^2$	0,526325
$\alpha$	0,05

Como se pode verificar, existe uma elevada variabilidade no que diz respeito ao número de vasos ideal, consoante os valores de  $1 - \beta$  e  $\varepsilon$  que temos em consideração. Na tabela 5.11. estão apresentados os diferentes números de vasos consoante o valor de  $\varepsilon$  e de  $1 - \beta$  que temos em consideração.

**Tabela 5.11.** Variabilidade do número de vasos

$1 - \beta$	$\varepsilon$	Número de vasos
0,8	0,08	6
0,8	0,07	9
0,8	0,05	19
0,9	0,08	9
0,9	0,07	12
0,9	0,05	27

### ***Inibição de Crescimento***

Ao aplicar a metodologia sugerida pelo modelo ANOVA hierárquico a dois fatores chegou-se à situação apresentada na tabela 5.12. Como se pode visualizar, se considerarmos que a potência do teste para detetar fitotoxicidade for 97,58% o número ideal de vasos será 5, caso consideremos que a potência seja 99,42 % o número ideal já será 6.

**Tabela 5.12.** Variabilidade do número de vasos

<b>Potência do teste para detetar a fitotoxicidade</b>	<b>Número de vasos</b>
97,58	5
99,42	6

Com base nas duas situações anteriormente referidas, Inibição de Germinação e Inibição de Crescimento, e apesar da enorme variação de resultados que existe no caso da inibição de germinação, considero que o número de vasos ideal para cada grupo em teste será seis. A inibição de germinação é avaliada através de valores do 5º dia do ensaio enquanto que a inibição de crescimento é avaliada através de valores do fim do ensaio, isto pode dar mais robustez aos valores, uma vez que ao 5º dia podem ainda não estar todas as plantas desenvolvidas. Tal facto pode dever-se a diferentes profundidades a que a semente se encontra, impedindo que a germinação ocorra toda ao mesmo tempo. Outro facto que poderá variar para além da profundidade a que a semente se encontra da superfície é a distância existente entre as plantas.

### 5.5. Ensaio de Desintegração

O ensaio de desintegração ocorreu com base na norma ISO 20200:2004, como um complemento a esta dissertação. O seu principal objetivo era avaliar visualmente e por diferença de peso as alterações físicas dos materiais

A tabela 5.13. apresenta os resultados dos diferentes materiais teste no ensaio de desintegração. Pode visualizar-se a quantidade de material recuperado da fração superior a 2 mm, em gramas de peso seco e o respetivo grau de desintegração em percentagem. Para cada um dos materiais teste realizou-se uma média entre os reatores que continham o mesmo material de teste.

O inoculo utilizado não permitiu a desintegração dos materiais em estudo. O FNT foi o que obteve um maior valor de desintegração, cerca de 50% e o PNC foi o que obteve um menor valor de desintegração, cerca de 20%. Os restantes materiais teste (PNA, FTSG e FTSG) obtiveram um valor de grau de desintegração muito semelhante, cerca de 45%.

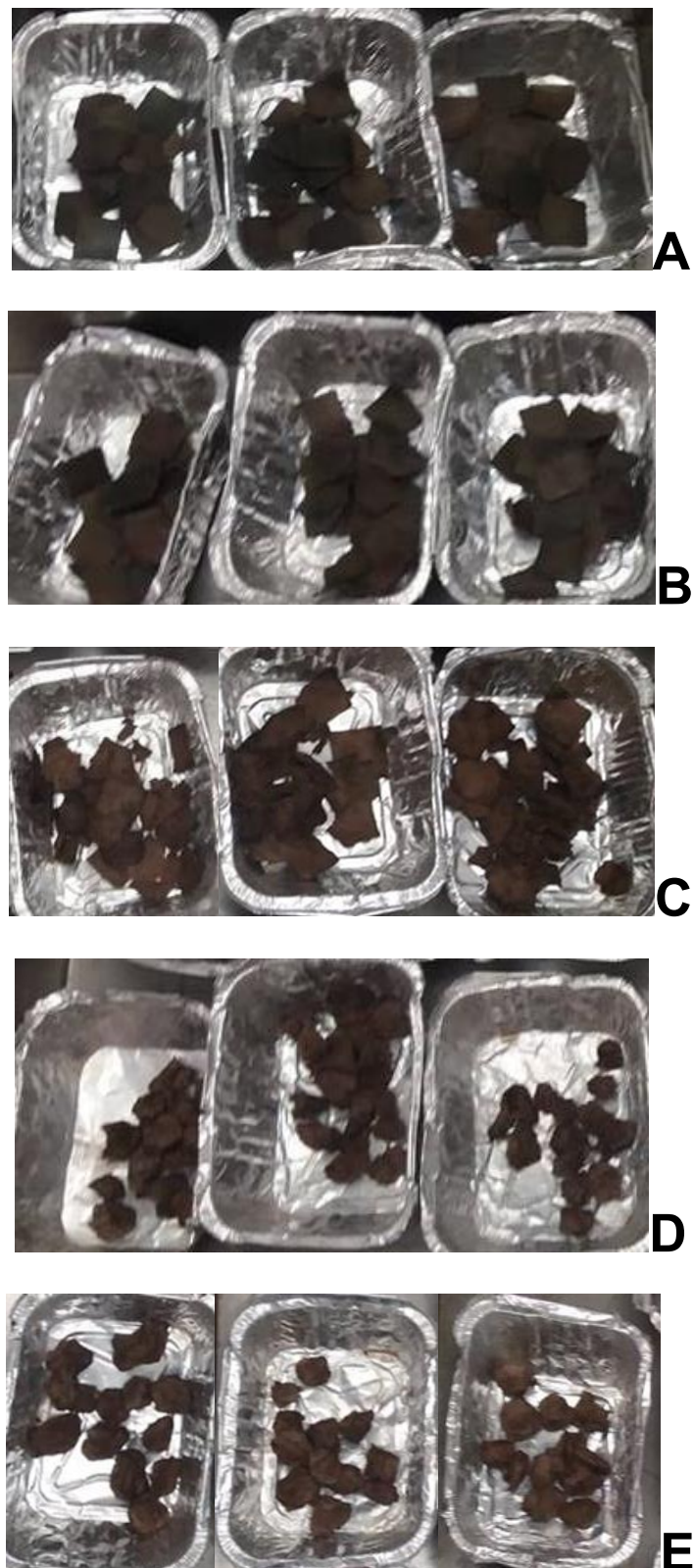
**Tabela 5.13.** Grau de Desintegração de cada um dos materiais teste

Amostra	Material teste			Grau de desintegração (%)	Grau de desintegração por amostra (%)
	Peso Inicial (g Ps)	Recuperado (> 2mm) (g Ps)	Média (g) (Desvio Padrão)		
PNC	10,01	7,42	7,88 ( $\pm 0,47$ )	25,87%	21,33%
	10,02	8,53		14,87%	
	10,02	7,69		23,25%	
PNA	10,01	5,53	5,50 ( $\pm 0,14$ )	44,76%	45,11%
	10,04	5,66		43,63%	
	10,03	5,32		46,96%	
FNT	10,15	4,74	4,89 ( $\pm 0,11$ )	53,30%	51,58%
	10,04	4,92		51,00%	
	10,09	5,00		50,45%	
FTSG	10,14	5,52	5,50 ( $\pm 0,17$ )	45,56%	45,55%
	10,03	5,29		47,26%	
	10,15	5,70		43,84%	
FTCG	10,50	5,72	5,61 ( $\pm 0,16$ )	45,52%	44,98%
	10,03	5,39		46,26%	
	10,08	5,73		43,15%	

Na figura 5.18. podem observar-se os diferentes materiais teste após o ensaio de desintegração.

O conteúdo que se encontrava nos reatores foi seco até atingir um peso constante, de seguida foi crivado e posteriormente o material teste foi limpo cuidadosamente de forma a que não ocorressem perdas.





**Figura 5.18.** Material teste após ensaio de desintegração. A – FTCG B – FTSG C – FNT D – PNA E - PNC



## 6. Conclusão

### 6.1. Síntese conclusiva

O principal objetivo da presente dissertação é contribuir para o melhoramento das normas técnicas EN 16086-1:2011 e ISO 20200:2004. Para cumprir este objetivo, reproduziram-se as duas em laboratório por forma a perceber o que se poderia alterar ou apenas melhorar.

No que diz respeito à norma EN 16086-1:2011, que permite avaliar o grau de fitotoxicidade, foram feitos ensaios em vasos, sendo o primeiro ensaio apenas com turfa que serviu para controlo e os restantes ensaios foram misturas nas proporções 50:50 e 25:75 de corretivo orgânico e turfa. Utilizaram-se corretivos orgânicos de duas empresas distintas, Lipor e Amarsul e em diferentes fases de maturação, sendo que um deles (CFL) apenas esteve quinze dias em túnel de compostagem. Foi este, CFL, que permitiu estabelecer uma relação entre as duas normas (EN 16086-1 e ISO 20200) visto ter sido este composto que se utilizou no ensaio da desintegração em reatores.

No que diz respeito à fitotoxicidade dos compostos estudados, e segundo a análise dos valores de inibição de germinação, pode-se afirmar que o CML é o composto mais fitotóxico uma vez que é o que apresenta o valor mais elevado. Relativamente à inibição de crescimento, nenhum dos compostos analisados neste estudo se classifica de fitotóxico uma vez que nenhum ultrapassa o valor de referência.

Não se procedeu a nenhum tipo de ajuste nutricional durante o ensaio de fitotoxicidade (à exceção da rega com solução nutritiva), visto que se fizeram os ensaios preliminares sem qualquer tipo de adubo e verificou-se que o crescimento das plantas não apresentava deficiência em azoto. Dai não se ter considerado necessário realizar um estudo muito moroso dos diversos tipos de azotos existentes na turfa. Visualmente todas as plantas aparentavam estar saudáveis. Quando há carência de azoto as plantas apresentam sinais de raquitismo, uma cor amarelada ou acabam por cair e nenhum destes três sinais se evidenciou.

A taxa de germinação média obteve um resultado mais elevado na mistura de CMA 25:75, sendo que seria de esperar o valor maior no ensaio da turfa. No que diz respeito ao peso fresco médio, foi o ensaio da turfa que obteve o resultado mais elevado.

Relativamente à componente de análise estatística da presente dissertação, pode-se dizer que o número ideal de vasos para que o resultado seja credível é de seis. Este valor surgiu após avaliar as duas componentes, inibição de germinação e inibição de crescimento, e verificar a enorme variabilidade que existia no caso da inibição de germinação. Tal variabilidade pode ser explicada devido aos dados de germinação serem do 5º dia do ensaio e neste período de tempo, nem todas as sementes poderão ainda estar germinadas, uma vez que podem estar a diferentes altitudes e também a diferentes distâncias entre elas. Os dados da inibição do crescimento são do fim do ensaio, dando por isso mais fiabilidade ao método utilizado.

No que diz respeito ao teste de desintegração, avaliado segundo a ISO 20200:2004 com algumas adaptações, pode dizer-se que o inoculo utilizado não permitiu a desintegração dos materiais em

estudo. O FNT foi o que obteve um maior valor de desintegração, cerca de 50% e o PNC foi o que obteve um menor valor de desintegração, cerca de 20%.

## **6.2. Trabalhos Futuros**

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizada uma avaliação nutricional, através dos diferentes tipos de azoto existentes, mineral e orgânico. Podem também ser verificadas as quantidades de azoto amoniacal, nítrico e total, sendo que só se analisou a quantidade de azoto total através de análise elementar.

Relativamente à leitura do valor do pH ideal para a turfa, sugere-se que este seja repetido, com diferentes quantidades de cal e com um processo de calagem diferente. Visto que se aplicou cal viva e através de uma solução dissolvida, sugere-se que seja aplicada outro tipo de cal e diretamente em pó, de forma a evitar que surjam patologias foliares (por exemplo folhas amareladas) ou até mesmo impedir o crescimento das plantas. Sugere-se ainda que se deixe estabilizar o valor de pH da turfa, fazendo leituras após algum tempo por forma a poder avaliar as variações.

Outra possibilidade de estudo será repetir os ensaios de fitotoxicidade com outras espécies como por exemplo o rabanete (*Raphanus sativus*) ou o agrião (*Lepidium sativum*) por forma a permitir a comparação com os valores estabelecidos no CCME. Poderão ainda ser comparadas as três espécies anteriormente referidas (couve chinesa, agrião e rabanete) e tentar perceber qual a mais indicada para este tipo de testes de avaliação de fitotoxicidade, através dos diferentes graus de sensibilidade das mesmas.

No que diz respeito ao teste de desintegração, sugere-se a repetição do teste, com as mesmas amostras mas com uma mistura de substâncias de forma a criar “resíduos sólidos sintéticos”.

## Referências Bibliográficas

- Agresti, A. (2002). Categorical data analysis. Second Edition, University of Florida, Gainesville, Florida , pp 496–502.
- Algar (2017). Áreas de Negócio, Produtos. Disponível em <http://www.algar.com.pt/%C3%A1reas-de-neg%C3%B3cio/produtos/>. Consultado a 11 de Março de 2018.
- Amarsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A. (2016). Amarterra. Disponível em <https://www.amarsul.pt/sub-servico/amarterra/>. Consultado a 3 de Março de 2018.
- Aslam, D. N., Horwath, W., VanderGheynst, J. S. (2008). Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil. Waste Management, 28(11), 2070–2076.
- ASTM D 6002 (1996). Standard guide for assessing the compostability of environmentally degradable plastics.
- ASTM D 6400 (1999). Standard specification for compostable plastics.
- Baptista, M. (2009). Modelling of the kinetics of municipal solid waste composting in full-scale mechanical-biological treatment plants, Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Bastioli, C. (2005) Handbook of biodegradable polymers, Smithers Rapra Press, Reino Unido, pp 552.
- Batista, J. e Batista, E. (2007). Compostagem: Utilização de compostos em Horticultura, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- Belo, S. (2011). Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Bento, A. J. F. (2013). “Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Vestuário Usado para Portugal: SIGVETU”. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Gestão.

- Bernal, M., Alburquerque, J., Moral, R., (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*. 100, 5444-5453.
- Boavida, L. R. A. A. (2018). Estudo da biodegradabilidade do algodão, lã e feltro de pêlo de coelho pardo em condições de compostagem à escala laboratorial. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Perfil de Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa -Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Briassoulis, D., Dejean, C., Picuno, P., (2010). Critical Review of Norms and Standards for Biodegradable Agricultural Plastics Part II: Composting, *Journal of Polymers and the Environment* 18, 364–383.
- Brinton, W. F., Evans, E., Droffner, M., Brinton, R. B. (2001). A standardized Dewar test for evaluation of compost self-heating, *BioCycle Report*, Woods End Research Laboratory, 16 pp, Acedido em 15 de Julho de 2018, em: [https://woodsend.com/pdf-files/dewar\\_re.pdf](https://woodsend.com/pdf-files/dewar_re.pdf).
- Buchanan, M., Brinton, W., Shields, F., West, J., Thompson, W., Cotton, M. (2002). The CCQC Compost Maturity Index. In: *Composting and compost utilization*, 2002 International Symposium. Ohio, USA (cit. Gonçalves, 2002).
- Cabañas-Vargas, D.D., Sánchez-Monedero, M. A., Urpilainen, S. T., Kamilaki, A., Stentiford, E. I., (2005). Assessing the stability and maturity of compost at large-scale plants. *Ingeniería*. 9, 25-30.
- Candeias, A.C.C. (1996). A aplicabilidade da tecnologia da compostagem no tratamento e valorização de resíduos orgânicos – contributo para a sua validação no sector dos lagares de azeite. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Agro-Industrial. ISA, Lisboa. 75 pp.
- CANORMAS – Comissão de Acompanhamento para a Harmonização de Procedimentos e Normas Técnicas (2008). Proposta de Norma para Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto.
- Castro-Aguirre, E., Auras, R., Selke, S., Rubino, M., & Marsh, T. (2017). Insights on the aerobic biodegradation of polymers by analysis of evolved carbon dioxide in simulated composting conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 137, 251–271. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.017>

- CCQC – California Compost Quality Council (2001). Compost maturity index, Acedido em 12 de Junho de 2018, em: <http://compostingcouncil.org/wp/wp-content/uploads/2014/02/2-CCQC-Maturity-Index.pdf>
- CCME - Canadian Council of the Ministers of the Environment (1996). Guidelines for compost Quality. Minister of Public Works and Government Services of Canada, Cat. N° EN108-3/1-106E
- CEN/BT/Task Force 151 (2005). Determination of electrical conductivity in soil, sewage sludge and biowaste. European Compost Network.
- CEN/BT/Task Force 151 (2005). Solid materials. Determination of bulk density. European Compost Network.
- Chen, Y., Inbar, Y., Hadar, Y., Hoitink, H. A. J. (1990). New approaches to compost maturity, *BioCycle*, 31 (12), pp 64 – 69.
- Cordeiro, N. M. (2010). Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos – caso de estudo da Algar S.A. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Cook, J. G. (1984). “Natural fibres of animal origin”. Em: *Handb. Text. fibre*. Fifth Edit. 4, pp. 79–165. isbn: 13: 978-1-85573-484-5.
- Crean, J. F. (1962). “Hats and the Fur Trade”. Em: *Can. J. Econ. Polit. Sci. Can. Econ. Sci. Polit.* 28.3, pp. 373–386.
- Cunha-Queda, A.C.F. (1999). Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Dissertação de doutoramento em Engenharia Agro-Industrial, ISA, UTL, Lisboa.
- Cunha-Queda, C., Morais, M.C., Ribeiro, H.M., Almeida, M.H. Caracterização de compostos e de materiais orgânicos para a formulação de substratos para viveiros. *Revista de Ciências Agrárias* v.33 n.1, Lisboa, Janeiro 2010.
- Cunha-Queda, A. C., Ribeiro, H. M., Ramos, A., e Cabral, F. (2007). Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology* 98, 3213-3220.

- Delgado, M.M., Martin, J.V., Imperial, R.M.D., León-Cófreces, C., García, M.C., (2010). Phytotoxicity of uncomposted and composted poultry manure. *African Journal of Plant Science*. 4, 154-162.
- DeWilde, B. e Boelens, J. (1998). Prerequisites for biodegradable plastic materials for acceptance in real-life composting plants and technical aspects, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 7 – 12.
- DIN V 54900-3 (1998). Testing of compostability of plastics – Part 3: Testing under practice-relevant conditions and a method of testing the quality of the composts.
- EN 12176 (1998). Characterization of sludge- Determination of pH-value. European committee for standardization. Brussels, Belgium.
- EN 12879 (2000). Characterization of sludges. Determination of the loss on ignition of dry mass. Instituto Português da Qualidade.
- EN 12880 (2000). Characterization of sludges. Determination of dry residue and water content. Instituto Português da Qualidade.
- EN 13346 (2000). Characterization of sludges. Determination of trace elements and phosphorous. Aqua regia extraction methods. Instituto Português da Qualidade.
- EN 13432 (2000). Packaging – Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging. Instituto Português da Qualidade.
- EN 16086-1 (2011). Soil improvers and growing media. Determination of plant response. Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage. Instituto Português da Qualidade.
- Eurostat (2017). Acedido em 12 de Junho de 2018, em: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/pt#Estat.C3.ADsticas\\_dos\\_res.C3.ADduos](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/pt#Estat.C3.ADsticas_dos_res.C3.ADduos)
- Fang, M., Wong, J.W.C., (1999). Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting. *Environmental Pollution*. 106, 83-89.
- FCQAO – Federal Compost Quality Assurance Organisation (2003). Methods book for the analysis of compost, Acedido em 14 de Julho de 2018, em: [https://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Grundlagen\\_GS/Methods\\_Book\\_2002.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Grundlagen_GS/Methods_Book_2002.pdf)



- Fuentes, A., Lloréns, M., Sáez, J., Aguilar, M. I., Pérez-Marín, A. B., Ortuño, J. F., Meseguer, V. F. (2005). Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilized sewage sludges, *Environmental Pollution*, 143 (2), 355 – 360.
- Gao, M., Liang F., Yu, A., Li, B., Yang, L., (2010). Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. *Chemosphere*. 78, 614-619.
- Gao, M., Li, B., Yu, A., Liang, F., Yang, L., Sun, Y., (2010). The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. *Bioresource Technology*. 101, 1899–1903.
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., Domínguez, J., (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*. 70, 436-444.
- Gonçalves, M.J.S. (1999). *Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Sua valorização para fins agrícolas pelo método de compostagem*. Trabalho de doutoramento em Engenharia Agronómica, ISA, Lisboa
- Gonçalves, M. J. S. e Baptista, M. (2001). *Proposta de regulamentação sobre a qualidade do composto para utilização na agricultura*, Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva/INIA, Lisboa.
- Haug, R. (1980). *Compost engineering: principles and practice*, Ann Arbor Science Publishers, Michigan.
- Haug, R. (1993). *The practical handbook of compost engineering*, Lewis Publishers, London.
- He, X.T., Traina, S.J., Logan, T.J. (1992). Chemical properties of municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.*, 21: 318-329 (cit. Cunha Queda, 1999).
- He, M., Tian, G., Liang, X., (2009). Phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead during the aerobic composting of sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*. 163, 671–677.
- Helfrich, P., Chefetz, B., Hadar, Y., Chen, Y., Schnabl, H., (1998). A novel method for determining phytotoxicity in composts. *Compost Science & Utilization*. 6, 6-13.
- Hemjinda, S., Krzan, A., Chiellini, E., Miertus, S. (2007). *Environmentally degradable polymeric materials and plastics - Guidelines to Standards and Testing Practices*, ICS-UNIDO.

- Hoekstra, N., Bosker, T., Lantinga, E., (2002). Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.). Agriculture, Ecosystems and Environment. 93, 189-196.
- Iannotti, D. A., Pang, T., Toth, B. L., Elwell, D. L., Keener, H. M., Hoitink, H. A. J. (1993). A quantitative respirometric method for monitoring compost stability, Compost Science & Utilization, 1 (3), 52 – 65.
- Insam, H., e de Bertoldi, E. (2007). Microbiology of the Composting Process. No livro de L. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier, & E. Stentifor, Compost Science and Technology, Volume 8. Elsevier.
- ISO 16929 (2002). Plastics – Determination of the degree of disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot-scale test. Instituto Português da Qualidade.
- ISO 20200 (2004). Plastics – Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test. Instituto Português da Qualidade.
- Krzan, A., Hemjinda, S., Miertus, S., Corti, A., Chiellini, E. (2006). Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastics, Polymer Degradation and Stability, 91, 2819 – 2833.
- Lipor (2018), Nutrimais. Disponível em <http://nutrimais.pt/#>. Consultado a 3 de Março de 2018.
- Lopes, P. N. D. (2013). Desenvolvimento de metodologia para a avaliação da compostabilidade do couro – contributo para estabelecimento de norma técnica. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente no perfil de Engenharia Sanitária, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F., Nava-Saucedo, J. (2008). Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques, Chemosphere, 73, 429 – 442.
- Martinho, M. G., Gonçalves, M. G., e Silveira, A. (2011). Gestão Integrada de Resíduos. Universidade Aberta.
- Mustin, M. (1987). Le compost Gestion de la matière organique. Édition François Dubusc, 954 pp (cit. Cordeiro, 2010).

- NP EN 13432 (2015). Embalagem - Requisitos para embalagens valorizáveis por compostagem e Biodegradação - Programa de ensaios e critérios de avaliação para a aceitação final das embalagens. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 14045 (2011). Embalagem – Avaliação da desintegração de materiais de embalagem através de ensaios práticos orientados sob condições de compostagem definidas. Instituto Português da Qualidade.
- OECD Guidelines for the Testing of Chemicals/Section 2: Effects on Biotic Systems, Test No. 208. Terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test. OECD Publishing, Updated Guideline, adopted 19 July 2006, Publication date: 17 Aug 2006. ISBN:9789264070066. OECD Code: 979920801E1OECD, Paris France
- Oliveira, C. R. (2011). Avaliação da qualidade de compostos de borras de café na produção de plantas aromáticas. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.
- Ortega, M., Moreno, M., Ordoviis, J., Aguado, M., (1996). Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae*. 66, 125-132.
- Pagga, U. (1997). Testing biodegradability with standardized methods, *Chemosphere*, 35 (12), 2953 – 2972.
- Pagga, U. (1998). Biodegradability and compostability of polymeric materials in the context of the European packaging regulation, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 371 – 376.
- Pagga, U. (1999). Compostable packaging materials – test methods and limit values for biodegradation, *Applied Microbiology Biotechnology*, 51, 125 – 133.
- Pensupa, N., S.-Y. Leu, Y. Hu, C. Du, H. Liu, H. Jing, H.Wang e C. S. K. Lin (2017). “Recent Trends in Sustainable Textile Waste Recycling Methods: Current Situation and Future Prospects”. Em: *Top. Curr. Chem.* 375.5, p. 76.
- Piedade, M. e Aguiar, P. (2010). Opções de Gestão de Resíduos Urbanos. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR, I. P.), Lisboa.
- Pinto, I. C. D. S. (2013). Estudo de acidificação de um composto de resíduos verdes alcalino. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente no perfil de Engenharia Sanitária, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

- Raninger, B., Steiner, G., Wiles, D. M., Hare, C. W. J. (2002). Tests on composting of degradable polyethylene in respect to the quality of the end product compost, In: Insam, H., Riddech, N., Klammer, S. (Eds.), *Microbiology of Composting*, Springer – Verlag, Berlin.
- Ramos, N. (2016). Avaliação da fitotoxicidade de correctivos orgânicos. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Robbins, J. A., e Evans, M. R. (2005). Growing Media for Container Production in a Greenhouse or Nursery, Part I – Components and Mixes. The University of Arkansas Division of Agriculture - Research & Extension.
- Russo, M. A. T. (2004). Introdução à compostagem de resíduos sólidos. Escola Superior de tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo.
- Sánchez-Monedero, M. A., Urpilainen, S. T., Cabañas-Vargas, D. D., Kamilaki, A., Stentiford, E. I. (2002). Assessing the stability and maturity of compost at large-scale plants, In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, Mexico, 27 a 31 de Outubro de 2002.
- Santos, J. L. D. D. (2007). Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis. Dissertação de Mestrado em Ecologia Aplicada, Faculdade de Ciências – Universidade do Porto, Porto.
- Sawada, H. (1998). ISO standard activities in standardization of biodegradability of plastics – development of test methods and definitions, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 365 – 370.
- Silveira, A. (1997). Contribuição para o Desenvolvimento de Modelo Cinético de Compostagem. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Sanitária, especialidade em Sistemas de Tratamento. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Tiquia, S., (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*. 79, 506-512.
- Tiquia, S., Tam, N., (1998). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*. 65, 43-49.

- Trautmann, N., Krasny, M. (1997). Composting in the Classroom. Scientific Inquiry for High School Students. Ed. Cornell University.
- Tridico, S. R. (2009). "Natural animal textile fibres: Structure, characteristics and identification". Em: Identif. Text. Fibers. Woodhead Publishing Limited, pp. 27–67.
- UNE 77314 (2001). Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Vaccaro, J. (2010). "Felt matters". Em: Women Perform. 20.3, pp. 253–266. issn: 0740770X.
- Weber, M. (2001). Global review of biodegradable plastics testing and standards, acedido em 24 de Março de 2018, em: <http://www.co2-sachverstaendiger.de/pdf/Lecture%20Biodegradable%20Plastics%20Conference%2026.10.2001.pdf>
- Wong, J., Mak, K., Chan, N., Lam, A., Fanf, M., Zhou, L., Wu, Q., Liao, X., (2001). Composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. Bioresource Technology. 76, 99-106.
- Zucconi, F. e Bertoldi, M. (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste, In: Compost: production, quality and use, Eds. Bertoldi, M., Ferranti, M. P., L'Hermite, P., Zucconi, F., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 30 – 50.
- Zucconi, F., Peram, A., Forte, M., Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost, BioCycle, 2254 – 2256.

### **Legislação Consultada**

- Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho. Diário da República, N.º 116/2011- 1ª série, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de Junho. Diário da República, N.º 114/2015- 1ª série, Ministério da Economia.



## **Anexos**

**Anexo I** – Composição da Solução Nutritiva

**Anexo II** – Ensaio 100% Turfa

**Anexo III** – Ensaio 50% Composto Maturado Lipor + 50% Turfa

**Anexo IV** – Ensaio 50% Composto Maturado Amarsul + 50% Turfa

**Anexo V** – Ensaio 50% Composto Fresco Lipor + 50% Turfa

**Anexo VI** – Ensaio 25% Composto Maturado Lipor + 75% Turfa

**Anexo VII** – Ensaio 25% Composto Maturado Amarsul + 75% Turfa

**Anexo VIII** – Ensaio 25% Composto Fresco Lipor + 75% Turfa





**Anexo I - Composição da Solução Nutritiva**

Nitrato de amónia ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )

Nitrato de cálcio tetra hidratado ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

Nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ )

Fosfato monopotássico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

Sulfato de magnésio hepta hidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Nitrato de magnésio hexa hidratado ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Quilato de ferro (Fe - DTPA (7% Fe))

Sulfato de manganês hidratado ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

Sulfato de zinco hepta hidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

Sulfato de cobre penta hidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Molibdato de sódio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), 1M



**Anexo II - Ensaio 100% TURFA**

Ensaio 100% TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TG <sub>i</sub> (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas/vaso (PF <sub>i</sub> (g))	(TG <sub>i</sub> - TG <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>	(PF <sub>i</sub> - PF <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
26	18	18	90	21,69	1,21	9	0,00
20	20	20	100	23,20	1,16	49	0,00
3	18	19	90	24,42	1,29	9	0,01
1	18	18	90	27,84	1,55	9	0,12
2	19	19	95	22,37	1,18	4	0,00
23	17	19	85	25,39	1,34	64	0,02
8	20	20	100	23,60	1,18	49	0,00
19	19	19	95	20,10	1,06	4	0,02
30	20	20	100	19,48	0,97	49	0,05
27	18	18	90	25,82	1,43	9	0,05
13	20	20	100	21,43	1,07	49	0,02
17	17	18	85	25,69	1,43	64	0,05
22	16	16	80	20,23	1,26	169	0,00
29	18	19	90	22,80	1,20	9	0,00
10	18	18	90	22,03	1,22	9	0,00
9	19	19	95	22,19	1,17	4	0,00
15	20	20	100	24,30	1,22	49	0,00
25	19	19	95	22,46	1,18	4	0,00
21	20	20	100	25,67	1,28	49	0,01
28	19	20	95	24,14	1,21	4	0,00
16	16	17	80	23,15	1,36	169	0,02
11	19	20	95	22,38	1,12	4	0,01
4	19	19	95	22,37	1,18	4	0,00
18	20	20	100	22,12	1,11	49	0,01
24	17	17	85	23,02	1,35	64	0,02
12	20	20	100	24,63	1,23	49	0,00
5	19	19	95	27,73	1,46	4	0,06
14	20	20	100	21,31	1,07	49	0,02
6	18	20	90	16,07	0,80	9	0,16
7	17	18	85	16,27	0,90	64	0,09

**Anexo III - Ensaio - 50% COMPOSTO MATURADO LIPOR + 50 % TURFA**

Ensaio - 50% COMPOSTO MATURADO LIPOR + 50 % TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TGi (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas / vaso (PFi (g))	(TGi-TGm) <sup>2</sup>	(PFi-PFm) <sup>2</sup>
54	14	15	70	11,98	0,80	568,03	0,04
60	1	3	5	0,2	0,07	1694,69	0,85
42	11	12	55	15,97	1,33	78,03	0,12
57	7	8	35	7,6	0,95	124,69	0,00
55	9	13	45	8,39	0,65	1,36	0,12
58	13	14	65	12,43	0,89	354,69	0,01
56	14	14	70	10,85	0,78	568,03	0,04
53	7	10	35	9,75	0,98	124,69	0,00
59	8	14	40	10,57	0,76	38,03	0,05
43	12	12	60	13,74	1,15	191,36	0,03
39	3	6	15	8,14	1,36	971,36	0,14
36	9	11	45	8,83	0,80	1,36	0,03
51	10	13	50	12,63	0,97	14,69	0,00
44	12	14	60	15,95	1,14	191,36	0,02
49	6	7	30	10,28	1,47	261,36	0,23
50	6	7	30	12,64	1,81	261,36	0,67
38	11	14	55	12,74	0,91	78,03	0,01
45	9	11	45	10,58	0,96	1,36	0,00
47	6	11	30	14,6	1,33	261,36	0,12
40	15	16	75	20,03	1,25	831,36	0,07
33	5	9	25	12,19	1,35	448,03	0,14
46	3	7	15	10,7	1,53	971,36	0,29
32	14	17	70	14,01	0,82	568,03	0,03
37	12	13	60	10,35	0,80	191,36	0,04
41	15	17	75	17,36	1,02	831,36	0,00
34	10	13	50	11,16	0,86	14,69	0,02
31	14	14	70	8,71	0,62	568,03	0,13
35	14	14	70	15,12	1,08	568,03	0,01
48	7	8	35	9,51	1,19	124,69	0,04
52	0	0	0	0	0,00	2131,36	0,97

**Anexo IV - Ensaio - 50% COMPOSTO MATURADO AMARSUL + 50 % TURFA**

Ensaio - 50% COMPOSTO MATURADO AMARSUL + 50 % TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TGi (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas / vaso (PFI (g))	(TGi-TGm) <sup>2</sup>	(PFI-PFm) <sup>2</sup>
13	17	18	85	15,49	0,86	6,25	0,00
2	17	17	85	14,94	0,88	6,25	0,00
7	14	16	70	14,11	0,88	156,25	0,00
20	17	17	85	12,84	0,76	6,25	0,02
27	16	17	80	15,09	0,89	6,25	0,00
5	15	17	75	16,66	0,98	56,25	0,01
19	12	13	60	14,57	1,12	506,25	0,05
23	17	18	85	16,75	0,93	6,25	0,00
11	18	19	90	19,94	1,05	56,25	0,02
21	17	17	85	17,87	1,05	6,25	0,02
16	16	16	80	19,56	1,22	6,25	0,10
22	19	19	95	18,70	0,98	156,25	0,01
26	14	16	70	15,47	0,97	156,25	0,00
25	20	20	100	18,30	0,92	306,25	0,00
15	11	15	55	13,80	0,92	756,25	0,00
3	19	20	95	17,26	0,86	156,25	0,00
1	15	16	75	17,67	1,10	56,25	0,04
10	20	20	100	18,96	0,95	306,25	0,00
29	18	19	90	13,42	0,71	56,25	0,04
30	19	19	95	12,22	0,64	156,25	0,07
4	19	19	95	14,46	0,76	156,25	0,02
28	19	19	95	14,97	0,79	156,25	0,01
18	13	14	65	15,09	1,08	306,25	0,03
6	19	19	95	16,32	0,86	156,25	0,00
17	18	18	90	18,53	1,03	56,25	0,02
8	16	18	80	14,46	0,80	6,25	0,01
12	9	11	45	10,07	0,92	1406,25	0,00
24	19	19	95	11,43	0,60	156,25	0,09
9	13	14	65	11,82	0,84	306,25	0,00
14	19	19	95	15,05	0,79	156,25	0,01

**Anexo V - Ensaio - 50% COMPOSTO FRESCO LIPOR + 50 % TURFA**

Ensaio - 50% COMPOSTO FRESCO LIPOR + 50 % TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TGi (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas / vaso (PFI (g))	(TGi-TGm) <sup>2</sup>	(PFI-PFm) <sup>2</sup>
17	20	20	100	12,25	0,61	191,36	0,05
26	17	16	85	14,45	0,90	1,36	0,00
11	17	16	85	12,86	0,80	1,36	0,00
4	18	19	90	14,43	0,76	14,69	0,01
16	17	17	85	15,11	0,89	1,36	0,00
21	20	20	100	15,25	0,76	191,36	0,01
7	17	19	85	16,72	0,88	1,36	0,00
19	10	12	50	10,74	0,90	1308,03	0,00
10	18	18	90	15,15	0,84	14,69	0,00
13	16	16	80	14,24	0,89	38,03	0,00
24	15	15	75	15,67	1,04	124,69	0,04
9	16	17	80	17,38	1,02	38,03	0,03
2	14	13	70	13,95	1,07	261,36	0,05
30	20	20	100	14,44	0,72	191,36	0,01
20	18	18	90	17,02	0,95	14,69	0,01
8	19	19	95	16,11	0,85	78,03	0,00
12	18	18	90	13,72	0,76	14,69	0,01
1	17	17	85	15,92	0,94	1,36	0,01
14	20	20	100	17,98	0,90	191,36	0,00
28	17	17	85	15,88	0,93	1,36	0,01
29	17	18	85	18,08	1,00	1,36	0,03
27	16	16	80	12,69	0,79	38,03	0,00
15	18	19	90	13,52	0,71	14,69	0,02
25	18	18	90	14,82	0,82	14,69	0,00
5	15	17	75	12,81	0,75	124,69	0,01
6	17	17	85	13,89	0,82	1,36	0,00
3	18	18	90	13,85	0,77	14,69	0,00
22	18	18	90	10,63	0,59	14,69	0,06
18	19	18	95	12,04	0,67	78,03	0,03
23	17	16	85	13,13	0,82	1,36	0,00

**Anexo VI - Ensaio - 25% COMPOSTO MATURADO LIPOR + 75 % TURFA**

Ensaio - 25% COMPOSTO MATURADO LIPOR + 75 % TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TGi (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas / vaso (PFi (g))	(TGi-TGm) <sup>2</sup>	(PFi-PFm) <sup>2</sup>
14	18	18	90	15,82	1,14	8,03	0,00
4	18	19	90	19,10	0,99	8,03	0,02
12	20	20	100	24,32	0,82	51,36	0,10
21	20	20	100	21,53	0,93	51,36	0,04
19	20	20	100	19,58	1,02	51,36	0,01
18	19	19	95	13,60	1,40	4,69	0,07
24	20	20	100	16,37	1,22	51,36	0,01
10	19	19	95	16,74	1,14	4,69	0,00
3	17	17	85	14,06	1,21	61,36	0,01
23	19	19	95	17,75	1,07	4,69	0,00
13	19	20	95	16,35	1,22	4,69	0,01
11	19	19	95	17,86	1,06	4,69	0,01
22	19	20	95	18,74	1,07	4,69	0,00
26	20	20	100	21,59	0,93	51,36	0,04
25	17	18	85	17,22	1,05	61,36	0,01
30	20	20	100	17,40	1,15	51,36	0,00
1	17	16	85	18,93	0,85	61,36	0,08
17	19	20	95	24,70	0,81	4,69	0,11
7	18	19	90	19,59	0,97	8,03	0,03
28	17	18	85	16,68	1,08	61,36	0,00
9	18	18	90	16,94	1,06	8,03	0,01
2	19	19	95	13,81	1,38	4,69	0,06
15	16	17	80	13,54	1,26	164,69	0,01
16	19	19	95	17,57	1,08	4,69	0,00
8	20	20	100	16,18	1,24	51,36	0,01
5	18	18	90	11,43	1,57	8,03	0,19
27	16	16	80	10,67	1,50	164,69	0,13
6	17	18	85	16,29	1,10	61,36	0,00
20	20	20	100	15,05	1,33	51,36	0,04
29	19	19	95	13,24	1,44	4,69	0,09

**Anexo VII - Ensaio - 25% COMPOSTO MATURADO AMARSUL + 75 % TURFA**

Ensaio - 25% COMPOSTO MATURADO AMARSUL + 75 % TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TGi (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas / vaso (PFI (g))	(TGi-TGm) <sup>2</sup>	(PFI-PFm) <sup>2</sup>
60	20	20	100	19,10	1,05	28,44	0,04
31	19	19	95	19,76	0,96	0,11	0,01
55	19	19	95	20,80	0,91	0,11	0,00
59	17	18	85	23,56	0,76	93,44	0,01
58	19	20	95	15,18	1,32	0,11	0,21
46	18	19	90	24,54	0,77	21,78	0,01
39	19	19	95	23,92	0,79	0,11	0,00
57	20	20	100	24,82	0,81	28,44	0,00
56	20	20	100	24,08	0,83	28,44	0,00
44	18	18	90	20,27	0,89	21,78	0,00
53	20	20	100	28,49	0,70	28,44	0,02
32	20	20	100	25,26	0,79	28,44	0,00
45	18	18	90	26,45	0,68	21,78	0,03
54	19	19	95	25,97	0,73	0,11	0,02
51	19	19	95	25,98	0,73	0,11	0,02
40	20	20	100	29,03	0,69	28,44	0,03
35	18	19	90	22,73	0,84	21,78	0,00
38	18	18	90	30,05	0,60	21,78	0,07
49	19	19	95	32,87	0,58	0,11	0,08
52	20	20	100	28,4	0,70	28,44	0,02
47	19	19	95	24,97	0,76	0,11	0,01
48	19	20	95	23,42	0,85	0,11	0,00
42	19	19	95	25,23	0,75	0,11	0,01
41	17	18	85	17,8	1,01	93,44	0,02
34	19	19	95	23,56	0,81	0,11	0,00
36	20	20	100	21,43	0,93	28,44	0,01
33	18	19	90	18,01	1,05	21,78	0,04
43	19	19	95	14,21	1,34	0,11	0,23
50	19	19	95	18,85	1,01	0,11	0,02
37	19	19	95	16,85	1,13	0,11	0,07



**Anexo VIII - Ensaio - 25% COMPOSTO FRESCO LIPOR + 75 % TURFA**

Ensaio - 25% COMPOSTO FRESCO LIPOR + 75 % TURFA							
Nº do Vaso	Nº de Plantas / Vaso ao 5º dia	Nº de Plantas / Vaso no fim	Taxa de Germinação (TGi (%))	Peso das plantas / vaso (g)	Peso médio das plantas / vaso (PFi (g))	(TGi-TGm) <sup>2</sup>	(PFi-PFm) <sup>2</sup>
49	19	19	95	28,87	0,66	1,78	0,01
45	16	16	80	23,46	0,68	186,78	0,00
58	19	19	95	19,27	0,99	1,78	0,06
60	19	19	95	22,73	0,84	1,78	0,01
56	20	20	100	23,99	0,83	40,11	0,01
57	19	19	95	27,63	0,69	1,78	0,00
59	18	18	90	27,12	0,66	13,44	0,01
55	19	19	95	26,42	0,72	1,78	0,00
53	18	18	90	25,95	0,69	13,44	0,00
54	20	20	100	22,88	0,87	40,11	0,02
51	19	20	95	26,77	0,75	1,78	0,00
32	18	18	90	26,67	0,67	13,44	0,01
34	20	20	100	27,85	0,72	40,11	0,00
40	19	18	95	29,11	0,62	1,78	0,02
38	20	20	100	20,57	0,97	40,11	0,05
50	20	20	100	31,77	0,63	40,11	0,01
43	19	19	95	31,64	0,60	1,78	0,02
35	20	20	100	24,78	0,81	40,11	0,00
37	17	17	85	24,94	0,68	75,11	0,00
41	20	20	100	31,12	0,64	40,11	0,01
52	19	19	95	24,62	0,77	1,78	0,00
33	17	17	85	25,52	0,67	75,11	0,01
48	15	17	75	18,05	0,94	348,44	0,04
39	18	18	90	30,56	0,59	13,44	0,03
42	19	19	95	28,43	0,67	1,78	0,01
44	19	19	95	29,71	0,64	1,78	0,01
31	19	20	95	24,07	0,83	1,78	0,01
36	19	19	95	18,23	1,04	1,78	0,09
46	18	18	90	22,77	0,79	13,44	0,00
47	20	20	100	26,01	0,77	40,11	0,00